

第 3 期科学技術基本計画のフォローアップに係る調査研究

政府投資が生み出した成果の調査

報 告 書

2009 年 3 月

文部科学省 科学技術政策研究所

Science and technology outcome supported by government investment

National Institute of Science and Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT)
JAPAN

本報告書は、科学技術振興調整費による業務として、科学技術政策研究所が実施した第3期科学技術基本計画のフォローアップに係る調査研究『政府投資が生み出した成果の調査』（平成20年度）の成果を取りまとめたものです。

本報告書の複製、転載、引用等には科学技術政策研究所の承認手続きが必要です。

目 次

全体概要	1
はじめに	7
第1部 大学・研究機関の多様な成果	9
第1章 調査の進め方	9
1. 目的	9
2. 調査手順	9
第2章 調査の概要	11
第1節 大学・研究機関へのアンケート調査	11
1. 調査の基本方針	11
2. 調査実施方法	11
3. 調査票の構成	13
4. 回答結果	13
5. 公表等	15
第2節 代表的成果の選定	16
1. 事例選定の手順	16
2. 代表的成果39事例	17
第3章 成果事例の紹介	21
1. 全成果事例	21
2. 代表的成果39事例	23
第4章 まとめ	63
第2部 公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割	67
第1章 調査の進め方	67
1. 目的	67
2. 調査手順	67
第2章 調査の概要	69
第1節 専門家へのアンケート調査	69
1. 調査実施方法	69
2. 回答結果	70
第2節 近年の顕著な成果の選定	74
1. 成果とりまとめの枠組みとアンケート結果の分析	74
2. 事例選定の手順	77
第3章 近年の顕著な成果12事例の紹介	81
1. 事例1 iPS細胞の創出	82
2. 事例2 脳科学の展開	93
3. 事例3 地球と宇宙の探査・観測技術	105

4. 事例4	X線自由電子レーザーと大型放射光施設	116
5. 事例5	次世代蓄電システム(自動車用・自然エネルギー用)	128
6. 事例6	希少金属回収技術	138
7. 事例7	次世代画像表示技術(有機EL)	151
8. 事例8	ユビキタス社会を支えるメモリと高速無線通信ネットワーク	161
9. 事例9	動脈硬化予防・治療法(高脂血症治療薬)	175
10. 事例10	放射線によるがん治療技術(重粒子線治療)	185
11. 事例11	新興・再興感染症の制御技術(検知・予防・診断・治療)	193
12. 事例12	自然災害の減災システム技術	226
第4章 近年の顕著な成果12事例に対する政府の支援		243
1. 各事例の進展に貢献した政府支援		243
2. 政府支援の有効性		247
2. 政府支援の合理性		251
第5章 まとめ		255
付属資料		259
第1部 大学・研究機関の多様な成果(アンケート表)		259
第1部 大学・研究機関の多様な成果(全成果データベース)		267
第2部 公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート表)		268
調査担当		277

図表目次

全体概要

第 1 表	第 1 部「大学・研究機関の多様な成果」におけるアンケート集計結果の概要	2
第 2 表	代表的成果 39 事例のリスト（大政策目標(1)～(3)）	2
第 3 表	代表的成果 39 事例のリスト（大政策目標(4)～(6)）	3
第 4 図	近年の顕著な成果 12 事例	4
第 5 図	近年の顕著な成果 12 事例において有効であった政府支援の傾向	5

第 1 部 大学・研究機関の多様な成果

第 1-1-1 図	大学・研究機関の多様な成果の調査手順	9
第 1-1-2 図	委員会の審議概要	10
第 1-2-1-1 表	成果の意義分類	12
第 1-2-1-2 表	調査票の構成	13
第 1-2-1-3 表	アンケート回答結果	14
第 1-2-1-4 表	機関別の回収成果数	14
第 1-2-1-5 表	実現時期別の回収成果数	15
第 1-2-2-1 図	代表的成果の選定手順	16
第 1-2-2-2 表	代表的成果 39 事例のリスト（中政策目標(1)～(5)）	17
第 1-2-2-3 表	代表的成果 39 事例のリスト（中政策目標(6)～(12)）	18
第 1-2-2-4 表	前回調査で選定した代表的成果 48 事例のリスト	19
第 1-3-1 表	成果データベースに記載された機関（国公立大学）	21
第 1-3-2 表	成果データベースに記載された機関（私立大学）	22
第 1-3-3 表	成果データベースに記載された機関（公的研究機関）	22
第 1-3-4 表	代表的成果 39 事例のリスト	23
第 1-4-1 表	第 1 部「大学・研究機関の多様な成果」のアンケート集計結果概要	64
第 1-4-2 表	代表的成果 39 事例のリスト（中政策目標(1)～(5)）	64
第 1-4-3 表	代表的成果 39 事例のリスト（中政策目標(6)～(12)）	65

第 2 部 公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割

第 2-1-1 図	公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割に関する調査手順	67
第 2-1-2 図	委員会の審議概要	68
第 2-2-1-1 図	調査票の質問項目(1)	69
第 2-2-1-2 図	調査票の質問項目(2)	70
第 2-2-1-3 表	アンケート回答結果	70
第 2-2-1-4 表	アンケートによるインパクトの高い上位 10 事例（ライフサイエンス分野）	71
第 2-2-1-5 表	アンケートによるインパクトの高い上位 10 事例（情報通信分野）	71
第 2-2-1-6 表	アンケートによるインパクトの高い上位 10 事例（環境分野）	71
第 2-2-1-7 表	アンケートによるインパクトの高い上位 10 事例（ナノテクノロジー・材料分野）	72
第 2-2-1-8 表	アンケートによるインパクトの高い上位 10 事例（エネルギー分野）	72

第 2-2-1-9 表	アンケートによるインパクトの高い上位10事例（ものづくり技術分野）.....	72
第 2-2-1-10 表	アンケートによるインパクトの高い上位10事例（社会基盤分野）.....	73
第 2-2-1-11 表	アンケートによるインパクトの高い上位10事例（フロンティア分野）.....	73
第 2-2-2-1 図	政策目標の枠組み.....	74
第 2-2-2-2 表	アンケートによるインパクトの高い上位10事例 （〈大目標1〉飛躍知の発見・発明、〈大目標2〉科学技術の限界突破）.....	75
第 2-2-2-3 表	アンケートによるインパクトの高い上位10事例 （〈大目標3〉環境と経済の両立）.....	75
第 2-2-2-4 表	アンケートによるインパクトの高い上位10事例 （〈大目標4〉イノベーター日本）.....	75
第 2-2-2-5 表	アンケートによるインパクトの高い上位10事例 （〈大目標5〉生涯はつらつ生活）.....	76
第 2-2-2-6 表	アンケートによるインパクトの高い上位10事例 （〈大目標6〉安全が誇りとなる国）.....	76
第 2-2-2-7 図	近年の顕著な成果12事例の選定手順.....	77
第 2-2-2-8 表	検討された事例候補と選定結果.....	78
第 2-2-2-9 表	近年の顕著な成果12事例の概要一覧.....	79
第 2-2-2-10 表	前回調査で選定された32事例.....	80
第 2-3-1-1 表	幹細胞の分類.....	82
第 2-3-1-2 表	幹細胞研究の経緯.....	83
第 2-3-1-3 図	幹細胞関連技術の技術俯瞰図.....	84
第 2-3-1-4 表	iPS 細胞に係る政府の主な支援策.....	87
第 2-3-1-5 図	オールジャパン体制の構築に向けた 文部科学省の iPS 細胞研究等の推進体制.....	88
第 2-3-1-6 図	「先端医療開発特区」における iPS 細胞プロジェクトの採択例.....	89
第 2-3-2-1 表	脳科学研究の意義.....	93
第 2-3-2-2 表	「脳を知る」領域の研究開発動向.....	94
第 2-3-2-3 表	「脳を守る」領域の研究開発動向.....	95
第 2-3-2-4 表	「脳に学ぶ」領域の研究開発動向.....	96
第 2-3-2-5 表	「脳を育む」領域の研究開発動向.....	97
第 2-3-2-6 表	日本の脳科学に関する研究開発戦略策定の流れ.....	100
第 2-3-2-7 表	脳科学総合研究センター（BSI）の特徴.....	101
第 2-3-3-1 図	Science 誌の表紙を飾る日本の宇宙科学研究の成果.....	108
第 2-3-3-2 図	「だいち」による災害観測事例.....	109
第 2-3-3-3 図	宇宙関係予算の推移と平成 21 年度省庁別内訳.....	112
第 2-3-3-4 図	日欧米の宇宙開発予算の比較.....	113
第 2-3-3-5 図	通信・放送、気象観測、地球観測、測位分野の計画.....	114
第 2-3-3-6 図	宇宙科学・宇宙探査分野の計画.....	115
第 2-3-4-1 図	X 線と物質の相互作用.....	117
第 2-3-4-2 図	アンジュレータからの放射光.....	118

第 2-3-4-3 表	世界の大型放射光施設	119
第 2-3-4-4 図	SPring-8 における利用状況(利用課題数)	120
第 2-3-4-5 図	SPring-8 における利用状況(利用者数)	121
第 2-3-4-6 表	世界の XFEL 開発計画	122
第 2-3-4-7 図	SPring-8 における利用状況(産業利用の状況)	124
第 2-3-5-1 図	日本の部門別二酸化炭素排出量の割合(各部門の間接排出量)	128
第 2-3-5-2 表	自動車用、分散電源用電池の主な種類	129
第 2-3-5-3 図	材料開発を中心としたリチウムイオン電池の開発変遷	130
第 2-3-5-4 表	二次電池に係わる国家プロジェクト	130
第 2-3-5-5 図	改良、先進、革新の 3 フェーズによる研究開発戦略	131
第 2-3-5-6 図	改良、先進、革新の 3 フェーズで定められた開発戦略における開発目標	132
第 2-3-5-7 表	リチウムイオン電池の正極材の開発経緯	132
第 2-3-5-8 表	国家プロジェクトで開発された主な材料	133
第 2-3-5-9 図	「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」の開発目標	134
第 2-3-5-10 図	リチウムイオン電池の国内生産高推移	135
第 2-3-5-11 図	電気自動車等導入費補助の累積補助額	137
第 2-3-6-1 図	高度なものづくり産業にとってのレアメタルの重要性	138
第 2-3-6-2 図	元素の周期表に見るレアメタル 31 鉱種	139
第 2-3-6-3 表	主要なレアメタルの価格高騰の状況	139
第 2-3-6-4 表	主要なレアメタルの上位産出国およびシェア(地域偏在性)	140
第 2-3-6-5 表	レアメタル 7 鉱種の備蓄	140
第 2-3-6-6 図	小型電子・電気機器からのレアメタルのリサイクル技術	141
第 2-3-6-7 図	小型電子・電気機器等からの希少金属等の回収システム技術	142
第 2-3-6-8 表	レアメタルの埋蔵量と消費量	143
第 2-3-6-9 表	非鉄金属のスクラップを原料としている割合	143
第 2-3-6-10 表	廃棄される電気電子機器に含まれる金属価値の試算	144
第 2-3-6-11 表	我が国の都市鉱山の規模推定結果	145
第 2-3-6-12 表	エコタウン事業と投資額	147
第 2-3-6-13 表	リサイクル義務のある法令	147
第 2-3-6-14 図	秋田県モデル事業のフロー	148
第 2-3-7-1 図	方式別日本のテレビ出荷台数推移	151
第 2-3-7-2 図	ディスプレイの方式分類	152
第 2-3-7-3 表	有機 EL の研究開発経緯	154
第 2-3-7-4 表	低分子系材料と高分子系材料の特徴	154
第 2-3-7-5 図	有機 EL の典型的構造	155
第 2-3-7-6 図	有機 EL の市場規模推移および予測	156
第 2-3-7-7 表	有機 EL の用途別シェア(2007 年)	156
第 2-3-7-8 表	有機 EL の市場シェア(2007 年)	157
第 2-3-7-9 表	有機 EL ディスプレイと液晶ディスプレイの性能比較	157
第 2-3-7-10 表	有機 EL に関する主な国家プロジェクト	159

第 2-3-7-11 図	有機 EL 照明の総合効率(製品としての効率)の 向上見込み(LED との比較)	160
第 2-3-8-1 図	年代別日本の人口の推移・将来推計	162
第 2-3-8-2 表	メモリの開発・商品化の経緯	163
第 2-3-8-3 図	NAND 型フラッシュメモリにおける微細化と高密度化の経緯(実例)	164
第 2-3-8-4 表	無線通信ネットワーク(携帯電話・無線 LAN)商品・サービスの展開	165
第 2-3-8-5 図	メモリ種類別販売個数実績	165
第 2-3-8-6 図	DRAM・フラッシュメモリ 世界市場規模予測	166
第 2-3-8-7 図	国内における第 3 世代携帯電話加入者数	167
第 2-3-8-8 表	メモリの開発・商品化の経緯	167
第 2-3-8-9 表	メモリに関する研究開発プロジェクト	169
第 2-3-8-10 図	総務省によるユビキタス社会に向けたロードマップ	170
第 2-3-8-11 表	無線通信ネットワークに関する研究開発プロジェクト	171
第 2-3-8-12 図	現在、各技術で世界第一線にあると考えられる 国・地域(有識者アンケート)	172
第 2-3-9-1 図	日本人の死因	175
第 2-3-9-2 図	スタチンの作用機構	177
第 2-3-9-3 表	スタチン開発・商品化の経緯	178
第 2-3-9-4 図	スタチンの市場規模推移	179
第 2-3-9-5 表	主な高脂血症治療薬の市場規模	179
第 2-3-9-6 図	世界初のスタチンを投与された FH ホモ接合体患者の 回復経緯(16 歳女性)	180
第 2-3-9-7 表	主な高脂血症治療薬の機能特徴	181
第 2-3-9-8 表	海外におけるスタチンを用いた大規模臨床試験	181
第 2-3-9-9 表	国内におけるスタチンを用いた大規模臨床試験	182
第 2-3-9-10 図	MEGA Study の結果	183
第 2-3-9-11 表	MEGA Study の結果	183
第 2-3-10-1 図	日本人の死因の年次推移	185
第 2-3-10-2 図	各種放射線の生体内における線量分布	186
第 2-3-10-3 図	HIMAC の重粒子線治療装置	188
第 2-3-10-4 図	群馬大学 重粒子線医学研究センターの重粒子線治療装置	188
第 2-3-10-5 図	頭頸部 腺様嚢胞がん	189
第 2-3-10-6 図	重粒子線による仙骨肉腫の治療	190
第 2-3-10-7 図	放医研でのがん登録患者数	190
第 2-3-10-8 図	世界の重粒子線(炭素線)治療施設計画	191
第 2-3-11-1 図	世界の新規 HIV 感染者数と新規エイズ患者数の推移	198
第 2-3-11-2 図	ヒト免疫不全ウイルス(HIV)の増殖メカニズム	199
第 2-3-11-3 表	熊本大学医学部・満屋が開発に関わった抗 HIV 薬	199
第 2-3-11-4 表	日本企業オリジナルの抗 HIV 薬開発	200
第 2-3-11-5 図	抗 HIV 薬の国内承認状況	200

第 2-3-11-6 図	HAART 導入後の予後改善の推移	201
第 2-3-11-7 図	日本におけるエイズ予防、研究開発に対する公的支援	202
第 2-3-11-8 図	日本におけるエイズに対する公的取組み(年次別推移)	203
第 2-3-11-9 表	C 型肝炎に関する国内外の研究開発、制度面等の推移	205
第 2-3-11-10 図	IFN の開発経緯	208
第 2-3-11-11 表	IFN への保険適用拡大に関する年表	209
第 2-3-11-12 図	日本と先進国の結核罹患率(2006)	217
第 2-3-11-13 図	結核に関する国内外の動き	218
第 2-3-11-14 図	日本の抗結核薬開発における研究の位置づけ	219
第 2-3-11-15 表	結核予防法施行前後の変化	220
第 2-3-11-16 図	結核薬開発における国と関係機関の役割	221
第 2-3-11-17 表	国の支援による抗結核ワクチンの開発	221
第 2-3-11-18 表	結核予防会／新規抗酸菌治療薬の開発・評価と評価方法に関する研究	222
第 2-3-12-1 図	マグニチュード 6.0 以上の地震回数	226
第 2-3-12-2 図	災害原因別死者・行方不明者	227
第 2-3-12-3 図	1 時間降水量 50mm 以上の降水の発生回数	227
第 2-3-12-4 表	緊急時の防災情報発表のための地震及び震度観測	228
第 2-3-12-5 表	地震・地殻活動の詳細な把握、調査研究のための基盤的観測	229
第 2-3-12-6 図	緊急地震速報システムの概念	230
第 2-3-12-7 図	MP レーダ利用による降水観測と従来の解析雨量の比較	231
第 2-3-12-8 図	リアルタイム浸水被害予測「あめリスク・ナウ」	232
第 2-3-12-9 図	消防団員数の推移	233
第 2-3-12-10 図	リアルタイム延焼予測システムのシミュレーション結果例	234
第 2-3-12-11 図	消防活動支援情報システムのイメージ	234
第 2-3-12-12 表	地震防災対策による被害額軽減	235
第 2-3-12-13 表	地震防災対策による人的被害軽減	236
第 2-3-12-14 図	防災気象情報の満足度	237
第 2-3-12-15 図	防災関係予算(科学技術の研究):単位(億円)	238
第 2-3-12-16 図	2008(平成 20)年度防災関係予算 (科学技術の研究)の内訳:単位(百万円)	238
第 2-3-12-17 図	防災情報共有プラットフォーム	239
第 2-3-12-18 図	減災・防災を進めるために必要な三助(自助・共助・公助)	240
第 2-4-1 表	「成果の進展に作用する政府支援因子」の分類	247
第 2-4-2 表	「政府支援の有効性」の評価基準	247
第 2-4-3 表	各事例において特に有効であった政府支援の一覧(事例 1～6)	248
第 2-4-4 表	各事例において特に有効であった政府支援の一覧(事例 7～12)	249
第 2-4-5 表	各事例において有効であった政府支援の傾向	250
第 2-4-6 図	科学技術成果ポートフォリオ(科学技術成果の領域と政策目標の関係)	251
第 2-4-7 図	科学技術特性と政策支援の関係	252
第 2-5-1 図	選定した近年の顕著な成果 12 事例	255

第 2-5-2 図	近年の顕著な成果 12 事例において有効であった政府支援の傾向.....	256
第 2-5-3 図	科学技術特性と政策支援の関係.....	257

付属資料

大学・研究機関の多様な成果(アンケート表 1/8).....	259
大学・研究機関の多様な成果(アンケート表 2/8).....	260
大学・研究機関の多様な成果(アンケート表 3/8).....	261
大学・研究機関の多様な成果(アンケート表 4/8).....	262
大学・研究機関の多様な成果(アンケート表 5/8).....	263
大学・研究機関の多様な成果(アンケート表 6/8).....	264
大学・研究機関の多様な成果(アンケート表 7/8).....	265
大学・研究機関の多様な成果(アンケート表 8/8).....	266
公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート表全体構成).....	268
公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-1).....	269
公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-2).....	270
公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-3).....	271
公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-4).....	272
公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-5).....	273
公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-6).....	274
公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-7).....	275
公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-8).....	276

全体概要

調査の目的

現在、我が国の科学技術行政は、第3期科学技術基本計画(2006～2010年度)のもとに推進されており、2008年度は本計画における中間フォローアップ年度に当たる。科学技術政策研究所は総合科学技術会議からその一部を振興調整費事業として依託され、本調査研究「政府投資が生み出した成果の調査」はその一環として実施した。

第1期科学技術基本計画(1996～2000年度)以降、政府の科学技術投資は増加傾向にあるが、政府の科学技術投資とその成果が国民には十分理解されていないという懸念がある。今後も政府科学技術投資の維持あるいは拡大を検討する場合には、その前提として、科学技術行政に対する政府の役割やこれまでの投資成果について、国民の目に見える形で積極的に説明することが求められる。科学技術政策研究所では、第2期科学技術基本計画(2001～2005年度)の中間年度に同様の調査を実施し^(注)、その結果の一部をまとめた冊子を作成して配布してきたが、昨今の厳しい財政状況下においては、今まで以上に分かりやすい説明が求められると考えられている。

本調査研究では、近年顕著な成果が得られた科学技術事例、あるいは今後大きな期待が見込まれる科学技術事例について以下の二部に分けた調査を実施し、その結果を国民にも分かりやすい形で情報発信することを目指した。

なお、成果事例の検討に際しては、本調査が第3期科学技術基本計画をフォローアップするものであることに鑑み、第3期科学技術基本計画で定めた政策目標体系によって成果の意義を分類し、成果を整理する枠組みとした。また、科学技術成果を国民へアピールするための情報発信のあり方や国民目線の事例選定については、科学技術ジャーナリズムを専門にした委員会を設置し、アドバイスをいただいた。

第1部 「大学・研究機関の多様な成果」

1. 研究成果のデータベース化

機関としての主な投資先である大学・公的研究機関に限定した研究成果について、各機関へのアンケート調査に基づく事例収集を行い、回答結果を成果データベースとしてまとめた。国公立大学、私立大学、および公的研究機関の合計 318 機関を調査対象とし、成果の内容や実現時期、メディアの取上げや表彰の実績、支持プロジェクトや資金などに関して質問した。189機関から寄せられた成果 1052 件の集計結果(巻末 CD)より、以下の傾向が得られた(第 1 図)。

成果の6割が社会還元時の明確な方向性を認識

成果の意義が、第3期科学技術基本計画に掲げられた大政策目標のうち、3～6に相当すると答えた回答が約 62%であった。大学や公的研究機関において社会での位置付けや活用先を意識した研究が 6 割程度実施されていると考えられる。

(注) 平成15年～16年度科学技術振興調整費調査研究報告書 基本計画の達成効果の評価のための調査

NISTEP REPORT No.80 科学技術振興による経済・社会・国民生活への寄与の定性的評価・分析 2004年5月

NISTEP REPORT No.89 科学技術振興による経済・社会・国民生活への寄与の定性的評価・分析 2005年3月

NISTEP REPORT No.93 国公立大学及び公的研究機関の代表的成果調査報告書(成果集) 2005年5月

成果の8割がすでに何らかの実現

実現時期別の内訳を見ると、「期間中(第2期及び第3期科学技術基本計画(2001年～2008年アンケート調査時まで)に実現した」が約 27%、「期間中に一部実現した」が約 52%、「今後 5 年程度で実現が期待できる」が約 19%であり、「期間中に実現した」と「期間中に一部実現した」を合計すると 8 割の成果がすでに実現している。1 機関の回答数を最大10件に限定したため、各機関において明確な成果が厳選されたものと考えられる。

第 1 表 第1部「大学・研究機関の多様な成果」におけるアンケート集計結果の概要

大政策目標	全成果1052件の内訳		大政策目標毎の成果の実現時期内訳			
	(件数)	(割合)	期間中に 実現した	期間中に 一部実現 した	今後5年程度 で実現が 期待できる	未記入
<目標1> 飛躍知の発見・発明	275	26.1%	40.4%	46.5%	10.5%	2.5%
<目標2> 科学技術の限界突破	67	6.4%	34.3%	46.3%	19.4%	0.0%
<目標3> 環境と経済の両立	146	13.9%	25.3%	54.1%	19.9%	0.7%
<目標4> イノベーター日本	189	18.0%	22.8%	57.7%	16.9%	2.6%
<目標5> 生涯はつらつ生活	203	19.3%	19.7%	51.7%	28.1%	0.5%
<目標6> 安全が誇りとなる国	118	11.2%	22.9%	53.4%	22.9%	0.8%
上記政策目標に該当しない研究分野	54	5.1%	13.0%	61.1%	20.4%	5.6%
			27.4%	52.1%	18.8%	1.7%

平均

2. 代表的成果の選定

得られた回答成果 1052 件全てに対して内容を吟味し、さらに委員の推薦による絞り込みを行い、39事例を選定した。絞り込みの視点は、成果に関する記載内容(各機関による記述)が理解しやすく、重要性が分かりやすいもの、メディアやトップジャーナルなど第三者によって大きく取り上げられたり表彰実績があるもの、今後の大きな発展性が期待されるもの、などである。第 2 表～第 3 表は、選定された代表的成果39事例のリストである。

第 2 表 代表的成果39事例のリスト (大政策目標(1)～(3))

大政策目標	中政策目標	No.	成果名	機関名
<目標1> 飛躍知の 発見・発明	(1)新しい原理・現象の発見・解明	1	新系統の高温超伝導物質を発見	東京工業大学
		2	マイクロ波による無線エネルギー送電技術の確立	京都大学
		3	世界で初めてシラスウナギの人工生産に成功	水産総合研究センター
		4	細胞死の分子機構解明	京都大学・大阪大学
		5	グリーンランド氷床コアから解読した過去の地球環境情報	北見工業大学
		6	新しい光ナノ構造「フォトリソグラフィ」の開発とそれによる自在な光制御の実現	京都大学
		7	光で生体の脳回路を見てみよう	生理学研究所
<目標2> 科学技術の 限界突破	(3)世界最高水準のプロジェクによる科学技術の牽引	8	月の起源と進化の解明に迫る、月周回衛星「かぐや」	宇宙航空研究開発機構
		9	サイレント超音速飛行機「MISORA」	東北大学
		10	地球深部探査船「ちきゅう」の建造と「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の開始	海洋研究開発機構
<目標3> 環境と 経済の 両立	(4)地球温暖化・エネルギー問題の克服	11	南北両極域における温室効果気体の観測による地球環境変動の研究	国立極地研究所
		12	超高効率な発電性能を有する風力発電機風車の開発と高精度な数値風況予測による風力エネルギーの有効利用	九州大学
		13	メタンガスを原料とする水素及びナノカーボンのコプロダクション	北見工業大学
	(5)環境と調和する循環型社会の実現	14	亜臨界水処理とメタン発酵による有機性廃棄物の資源・エネルギー化	大阪府立大学
		15	バイオエタノールを選択的に低級オレフィンに転換しバイオプラスチック製造を可能にする触媒の開発	東京工業大学
		16	トンネル内浅層地中熱を利用した水平Uチューブ方式によるトンネル坑口の融雪システム	福井大学

第3表 代表的成果39事例のリスト（大政策目標(4)～(6)）

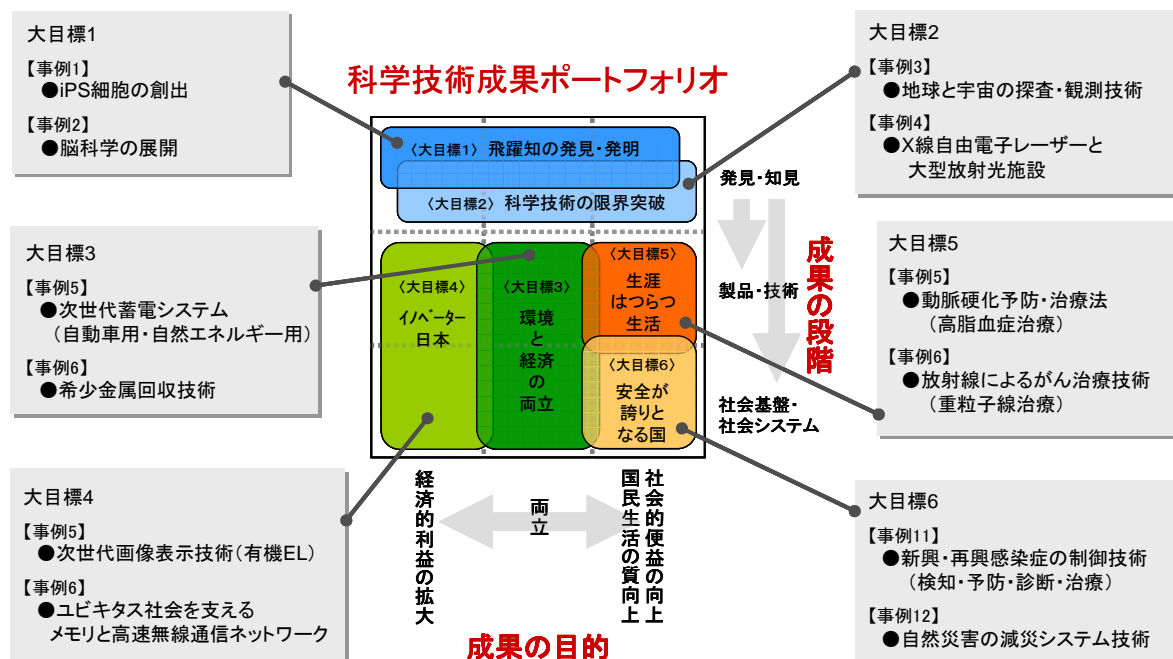
大政策目標	中政策目標	No.	成果名	機関名
<目標4> イノベーター日本	(6)世界を魅了するユビキタスネットワーク社会の実現	17	トロンが作る多漢字利用システム	東京大学
		18	人を引き込む身体的コミュニケーション技術(身体的引き込み技術)	岡山県立大学
		19	時系列メディアのデザイン転写技術の開発	関西学院大学
	(7)ものづくりナンバーワン国家の実現	20	常温でセラミックスを作る省エネプロセス技術	産業技術総合研究所
		21	世界最強の超軽量マグネシウム合金	熊本大学
		22	未来蓄電デバイス材料の創成	関西大学
	(8)科学技術により世界を勝ち抜き産業競争力の強化	23	宇宙生活の安全性と快適性を保障する生活関連の技術開発	日本女子大学
		24	生物磁石合成機構の解明と医療計測への応用	東京農工大学
		25	世界最高水準のロケットの開発	宇宙航空研究開発機構
<目標5> 生涯はつらつ生活	(9)国民を悩ます病の克服	26	個体内レドックス制御因子(酸素濃度・活性酸素・pHなど)の同時分離画像解析を可能とする多重磁気共鳴生体レドックス画像化システム	九州大学
		27	世界初の新規抗血栓薬の開発	三重大学
		28	ヒトがんワクチン療法の開発	東京慈恵会医科大学
	(10)誰もが元気に暮らせる社会の実現	29	アルツハイマー病の原因物質の分子メカニズム解明	理化学研究所
		30	肝臓再生医療	山口大学
		31	生体分子を標的とする分子認識を基盤とした難病治療薬の開発	京都薬科大学
<目標6> 安全が誇りとなる国	(11)国土と社会の安全確保	32	災害時に役立つヘリコプター衛星通信システム	情報通信研究機構
		33	巨大地震の研究	産業技術総合研究所
		34	MPLレーダを用いた「ゲリラ豪雨」の発生予測に関する研究	防災科学技術研究所
		35	緊急地震速報の実用化と進展	気象庁気象研究所
	(12)暮らしの安全確保	36	クロマグロ養殖産業の確立と資源保護	近畿大学
		37	自殺予防研究プロジェクト	秋田大学
		38	東証マザーズ上場の主軸となった指紋認証装置の認証アルゴリズム開発	名古屋工業大学
		39	インフルエンザウイルス感染過程の解明とその応用	科学技術振興機構 (代表研究機関 東京大学)

第2部 「公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割」

近年の顕著な成果12事例の選定

専門家へのアンケート調査と検討委員会を通じて、近年の顕著な成果として12の事例を選定した。科学技術 8 分野に属する専門家へのアンケート調査では、経済・社会・国民生活へのインパクトが高い成果、および公的支援の関わりが強い成果について意見を収集した。468 人の専門家から延べ 8768 件(310 種類)の成果が寄せられた。この集計結果を踏まえて事例候補案を 30 事例に絞り込み、さらに検討会と委員会を通じて、大政策目標毎に 2 事例、全体(大政策目標(1)～(6))で以下の12事例を選定した(第4図)。

第4図 近年の顕著な成果12事例



近年の顕著な成果12事例の進展に貢献した政府支援

選定した成果事例に関する詳細な調査を実施し、各事例が進展してきた経緯や社会・経済・国民生活へのインパクト、および事例の進展を支えた政府投資や支援について関係者へのインタビュー調査を実施した。本成果事例に対して特に有効であった政府の支援内容を抜粋して分析することによって、政府支援の役割について特徴的な傾向を調べた（第5図）。その結果、以下のことが明らかとなった。

事例の進展には多様な支援による相乗効果が不可欠

一つの政策だけで成果が実現できた事例は存在せず、3種類～5種類の複数による多様な政府支援の相乗効果によって進展を後押ししている。有効な組合せは事例によって異なる。

安全・医療の分野では、「研究資金投資・社会制度策定・研究拠点形成」の組合せが有効

大政策目標5（生涯はつらつ生活）と大政策目標6（安全が誇りとなる国）では「研究開発への資金投資」と「社会制度の策定・整備」および「最先端な連携拠点の形成・活用・維持」を組合せた政府支援が特に有効である。中でも「社会制度の策定・整備」は成果実現のための要であり、迅速かつ的確な支援が重要である。

低炭素社会・ユビキタス社会の分野では、「戦略策定と国民への理解促進」が有効

大政策目標3（環境と経済の両立）と大政策目標4（イノベーター日本）の事例では「将来戦略の立案・策定と国民への理解促進」が特に有効であるという傾向が表れた。多くの民間企業が研究開発を進めているが、まだ鮮明ではない将来社会の方向性を政府が指し示し、我が国としての達成目標を関係者が共有することは、特に今後は大きな推進力となる。

12事例全般の成果を支える研究資金投資と研究拠点形成

「研究開発への資金投資」と「最先端な連携拠点の形成・活用・維持」の政府支援は、12事例全体を通して有効であった。「研究開発への資金投資」は研究開発の確実性と実現時期を早め、「最先端な連携拠点の形成・活用・維持」は成果の革新性を高める、効率的な方策と考えられる。

第5図 近年の顕著な成果12事例において有効であった政府支援の傾向

		政府支援の有効性:					
		特に有効:◎					
		有効:○					
大政策 目標	事例名	有効であった政府の支援					
		(1) 方向性を明示し、 成果を牽引・後押しする支援		(2) 実現の確実性を高め、成果の社会還元を早める支援		(3) 成果の革新性を高め、社会・経済・国民生活へのインパクトを拡大する支援	
		・将来戦略の立案・策定 ・国民への理解促進	・研究開発への資金投資 ・プロジェクト遂行	・社会制度の策定・整備 (法規制、社会基盤)	・市場・産業の創造・拡大援助 (知財強化、初期市場形成補助)	・最先端な連携拠点の形成・活用・維持	・人材の育成・確保・創造
＜目標1＞ 飛躍知の 発見・ 発明	【事例1】 iPS細胞の創出		◎	○		◎	
	【事例2】 脳科学の展開	◎	◎			◎	○
＜目標2＞ 科学 技術の 限界 突破	【事例3】 地球と宇宙の探査・観測	○	◎			◎	
	【事例4】 X線自由電子レーザーと 大型放射光施設		◎		○	◎	
＜目標3＞ 環境と 経済の 両立	【事例5】 次世代蓄電システム (自動車用・自然エネルギー用)	◎	○		◎	○	
	【事例6】 希少金属回収技術	○	◎			○	
＜目標4＞ イノー バー ター 日本	【事例7】 次世代画像表示技術 (有機EL)		◎				◎
	【事例8】 ユビキタス社会を支える メモリと高速無線通信ネットワーク	◎	○		○	○	
＜目標5＞ 生涯 はつら つ 生活	【事例9】 動脈硬化予防・治療法 (高脂血症治療薬)			○			○
	【事例10】 放射線によるがん治療技術 (重粒子線治療)	○	◎	◎	○	◎	
＜目標6＞ 安全が 誇りと なる国	【事例11】 新興・再興感染症の制御技術 (検知・予防・診断・治療)	○	◎	◎	○	○	
	【事例12】 自然災害の減災システム技術		◎	◎	○	◎	

成果の情報発信

本調査結果を科学技術に興味のある国民にも分かりやすい形で情報発信することを目的に、調査によって得られた科学技術成果について、事例集(「大学・公的研究機関の多様な成果事例集」、および「政府投資が支えた近年の科学技術成果事例集」)を作成し、別途公表する。

はじめに

第1期、第2期および第3期の科学技術基本計画実施中の政府研究開発投資は、それぞれ5年間で約 17 兆円、約 21 兆円、および約 25 兆円（目標値）と増額されてきた。現在、2011 年度からの第4期科学技術基本計画策定にあたって検討が始まっているが、これまでの政府の科学技術投資とその成果が国民には十分理解されていないという懸念がある。したがって、昨今の厳しい財政状況の中で政府科学技術投資の維持あるいは拡大を検討する場合には、その前提として、科学技術行政に対する政府の役割やこれまでの研究投資成果について、国民の目に見える形で積極的に情報発信することが不可欠である。本調査は、このような趣旨に基づき、「第3期科学技術基本計画のフォローアップに係る調査研究」の一環として、総合科学技術会議からの委託により実施したものである。これまでも、第2期科学技術基本計画（2001～2005年度）の中間年度に今回と同様の調査を実施し、その結果の一部をまとめた冊子を作成して配布してきたが、前回以上に分かりやすい説明が求められている。

本調査研究では、近年に顕著な成果が得られた科学技術事例、あるいは今後大きな期待が見込まれる科学技術事例について、以下二つの方法で調査を実施した。

第1部「大学・研究機関の多様な成果」では、機関としての主な投資先である大学・公的研究機関に限定した研究成果について、各機関へのアンケート調査に基づく幅広い収集を行い、回答結果を成果のデータベースとしてまとめた。

第2部「公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割」では、近年の顕著な成果について、専門家へのアンケート調査と検討委員会によって事例選定を行った。さらに選定した成果事例に関する詳細な調査を実施し、各事例が進展してきた経緯や社会・経済・国民生活へのインパクト、および成果の進展を支えた政府投資や支援について分析した。

なお、これら調査の結果として得られた科学技術成果について、科学技術に興味のある国民にも分かりやすい形で情報発信するために、事例集（「大学・公的研究機関の多様な成果事例集」、および「政府投資が支えた近年の科学技術成果事例集」）を作成し、別途公表する。

第1部 大学・研究機関の多様な成果

第1章 調査の進め方

1. 目的

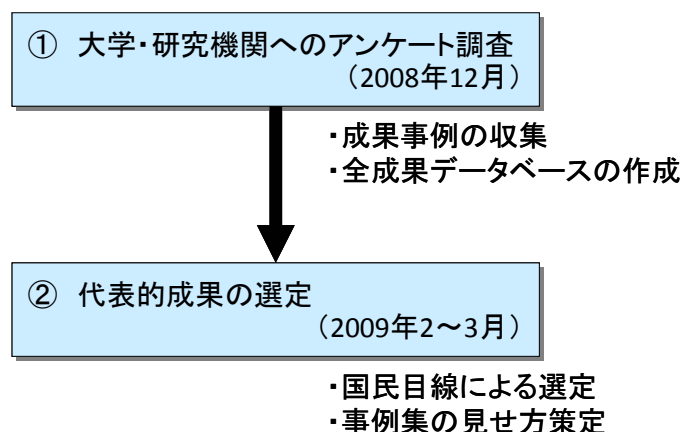
本調査は、近年顕著な成果が得られた科学技術事例、あるいは今後期待が大きい科学技術事例について、国立大学等の運営費交付、私学助成、あるいは競争的資金の活用など、政府の重要な投資先である大学・公的研究機関で実施されている研究成果をデータベース化することを目的とした。また、その成果の一部を事例集としてまとめ、分かり易い形で情報発信することによって、これまでの研究投資成果を科学技術に興味のある国民に提示することを目指した。

2. 調査手順

以下の手順で、大きく二つの段階に分けて調査を行なった。

- ① 大学・研究機関へのアンケート調査
- ② 代表的成果39事例の選定

第 1-1-1 図 大学・研究機関の多様な成果の調査手順



なお、本調査にあたっては、科学技術成果を国民へアピールするための情報発信のあり方や国民目線の事例選定についてアドバイスをいただくことを目的として、産業技術総合研究所の餌取章男広報アドバイザーを委員長とする科学技術ジャーナリズムを専門にした以下委員会を設置し、調査・検討を実施した。

(委員長)

餌取 章男 産業技術総合研究所 広報アドバイザー

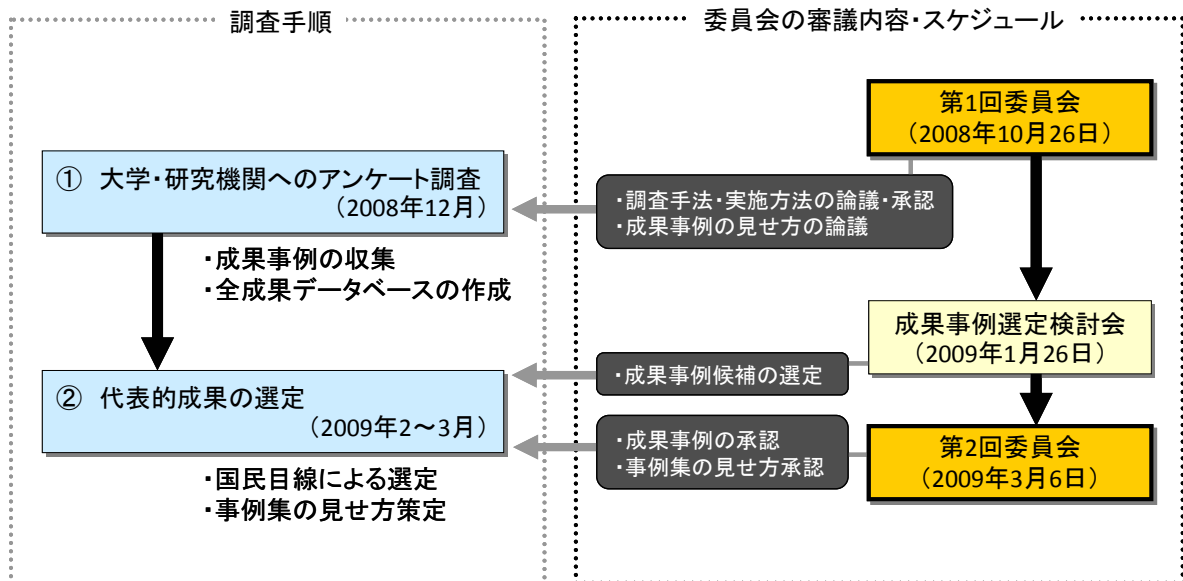
(委員)

小出 重幸 読売新聞東京本社 科学部 部長

藤本 瞭一 早稲田大学 グローバル連携戦略研究所 教授
 丸山 正明 日経 BP 産学連携事務局 編集委員
 森 健一 東京理科大学 MOT 大学院 教授
 由利 伸子 サイトェックコミュニケーションズ代表・プロデューサー

(委員は五十音順、敬称略)

第 1-1-2 図 委員会の審議概要



第2章 調査の概要

第1節 大学・研究機関へのアンケート調査

1. 調査の基本方針

本調査における成果の収集方法の基本方針は、以下の5点である。

(1) 成果を所属機関別に問う。

本調査では、機関としてのミッション型の成果も研究者個人に由来する研究開発成果も、すべて当該機関に所属するうえで成されたものと仮定し、機関別に各機関の代表者から回答していただく形をとった。

(2) 成果の意義を問う。

本調査では、代表的な成果名を挙げていただくのみならず、それらの成果の結果もたらされた意義について回答していただいた。研究開発成果は多様な意義をもたらすものと仮定し、ひとつの成果に対して複数の意義が生じうるとした。

(3) 科学技術基本計画の期間中における成果を問う。

本調査では、第2期及び第3期基本計画（2001年～2008年アンケート調査時まで）の間に実現した成果（大きな進展）、一部実現した成果、および今後5年程度で期待される成果（大きな進展）に注目した。

(4) 回答は任意かつ自己申告である。

本調査では、回答の有無、回答件数、詳細データ付属等はすべて任意であるとした。また、成果名、成果の意義等について、すべて、自己申告および自己評価の形をとっている。

(5) 成果の分かり易さを問う。

科学技術成果をより広く国民に理解してもらうために、専門分野以外の第三者にも分かる平易な記述を依頼した。また、メディアによる記事の取上げや表彰など第三者による客観的観点を加えるために、それらの実績について回答していただいた。

2. 調査実施方法

(1) 調査対象： 以下①から③の機関（合計 318 機関）に対して、アンケートを送付した。

- ①国公立大学 146 機関
（看護大学、芸術大学（東京芸術大学・筑波芸術大学以外）を除く）
- ②私立大学 96 機関
（看護大学、芸術大学、高専を除く、科研費配分額 5,000 万円以上）
- ③公的研究機関 76 機関

- (2) 調査期間： 2008 年 12 月 11 日～1 月 14 日（最終回収は 2 月 27 日）
- (3) 調査内容：
- ・ 機関ごとの代表的成果(あるいは大きな進展)を回答していただいた。
 - ・ 回答件数は1機関 10 件を上限とし、自己評価にて記入していただいた。
 - ・ 第三者にも分かりやすい客観的観点として、メディアやトップジャーナルでの取上げや表彰などの実績を記入していただいた。
 - ・ 本調査が「第3期科学技術基本計画のフォローアップに係る調査研究」の一環であるという趣旨に鑑み、回答事例を整理・分類するための「成果の意義」を、第3期科学技術基本計画で定めた以下の政策目標を主とした枠組みと定義した。

第 1-2-1-1 表 成果の意義分類

成果の 意義 分類	第3期 科学 技術 基本計 画の 枠組み	理念	大政策目標	中政策目標
		<理念1> 人類の 英知を 生む	<目標1> 飛躍知の発見・発明 ～未来を切り拓く多様な知識の蓄積・創造	(1)新しい原理・現象の発見・解明 (2)非連続な技術革新の源泉となる 知識の創造
			<目標2> 科学技術の限界突破 ～人類の夢への挑戦と実現	(3)世界最高水準のプロジェクトによる 科学技術の牽引
		<理念2> 国力の 源泉を 創る	<目標3> 環境と経済の両立 ～環境と経済を両立し持続可能な発展を実現	(4)地球温暖化・エネルギー問題の克服 (5)環境と調和する循環型社会の実現
			<目標4> イノベーター日本 ～革新を続ける強靱な経済・産業を実現	(6)世界を魅了する ユビキタスネット社会の実現 (7)ものづくりナンバーワン国家の実現
				(8)科学技術により世界を勝ち抜く 産業競争力の強化
		<理念3> 健康と 安全を 守る	<目標5> 生涯はつらつ生活 ～子供から高齢者まで健康な日本を実現	(9)国民を悩ます病の克服 (10)誰もが元気に暮らせる社会の実現
			<目標6> 安全が誇りとなる国 ～世界一安全な国・日本を実現	(11)国土と社会の安全確保 (12)暮らしの安全確保
		上記政策目標に該当しない研究分野		

3. 調査票の構成

調査票の構成と質問項目の概要は以下の通りである。

(調査票の詳細な質問項目については、付属資料編第 1 部を参照)。

第 1-2-1-2 表 調査票の構成

問1. 機関の代表的成果(あるいは大きな進展)の内容について
① 機関名
② 代表的成果(進展)の名称(必要に応じて副題を付与)
③ 該当する成果の意義分類、および期間中の実現状況 (期間:第2期及び第3期基本計画(2001年～2008年アンケート調査時まで))
④ 具体的成果内容(実現・顕在化していること/今後期待されること)
⑤ 成果をアピールするキャッチフレーズ
問2. 当該成果(進展)の関連情報
① 研究者・研究チーム、共同推進組織、関連機関
② メディアでの取上げ、表彰など
③ 公的な支持プロジェクトや獲得資金、成果に関する論文・特許など

4. 回答結果

本アンケートでは、全機関の 6 割に相当する 189 機関から回答があり、1052 件の成果案件が寄せられた(第 1-2-1-3 表)。

第 1-2-1-4 表において機関別の内訳を見ると、国公立大学が 558 件(53%)、私立大学が 242 件(約 23%)、公的研究機関が 252 件(約 24%)であった。成果の意義分類として大政策目標による内訳を全機関合計で見ると、「目標1 飛躍値の発見・発明」が 275 件(約 26%)、「目標2 科学技術の限界突破」が 67 件(約 6%)、「目標3 環境と経済の両立」が 146 件(約 14%)、「目標4 イノベーター日本」が 189 件(約 18%)、「目標5 生涯はつらつ生活」が 203 件(約 19%)、「目標6 安全が誇りとなる国」が 118 件(約 11%)、「これら政策目標に該当しない分野」が 54 件(約 5%)であった。「目標1 飛躍値の発見・発明」に占める比率が約 26%と最も大きかったが、これを機関別に見ると、国公立大学が約 29%、私立大学が約 24%、公的研究機関が約 21%であり、国公立大学の比率が最も大きかった。一方、大政策目標3～6に該当する成果を3機関合計すると 656 件(約 62%)になり、大学や公的研究機関における成果として、ある程度明確な方向性を目指した研究が 6 割程度実施されている事が分かった。

第 1-2-1-5 表において成果の実現時期別の内訳を見ると、「期間中に一部実現した」が 548 件(約 52%)と最も多く、「期間中に実現した」が 288 件(約 27%)、「今後 5 年程度で実現が期待できる」が 198 件(約 19%)と続いた。「期間中に実現した」と「期間中に一部実現した」を合計すると、8 割の成果がすでに何らか実現していると答えている。これは、本アンケート調査において、1 機関の回答数を最大10件に限定したため、各機関において明確な成果が厳選された結果によるものと考えられる。

第 1-2-1-3 表 アンケート回答結果

機関	送付数	回収結果	
		機関数(回収率)	回答成果数
国公立大学	146	88(60.2%)	558
私立大学	96	58(60.4%)	242
公的研究機関	76	43(56.5%)	252
合計	318	189(59.4%)	1052

第 1-2-1-4 表 機関別の回収成果数

成果の意義分類		機関別合計件数			政策目標別 機関合計 件数・比率	
大政策目標	中政策目標	国公立 大学	私立 大学	公的 研究 機関	中 政策 目標	大 政策 目標
<目標1> 飛躍知の発見・発明 ～未来を切り拓く多様な知識の蓄積・創造	(1)新しい原理・現象の発見・解明	162	59	54	275	275
	(2)非連続な技術革新の源泉となる 知識の創造				26.1%	26.1%
<目標2> 科学技術の限界突破 ～人類の夢への挑戦と実現	(3)世界最高水準のプロジェクトによる 科学技術の牽引	34	10	23	67	67
					6.4%	6.4%
<目標3> 環境と経済の両立 ～環境と経済を両立し 持続可能な発展を実現	(4)地球温暖化・エネルギー問題の克服	23	7	22	52	146
	(5)環境と調和する循環型社会の実現	55	15	24	94	
<目標4> イノベーター日本 ～革新を続ける強靱な経済・産業を実現	(6)世界を魅了する ユビキタスネット社会の実現	24	13	18	55	189
	(7)ものづくりナンバーワン国家の実現	42	15	10	67	
	(8)科学技術により世界を勝ち抜く 産業競争力の強化	35	14	18	67	
<目標5> 生涯はつらつ生活 ～子供から高齢者まで健康な日本を実現	(9)国民を悩ます病の克服	43	23	17	83	203
	(10)誰もが元気に暮らせる社会の実現	64	45	11	120	
<目標6> 安全が誇りとなる国 ～世界一安全な国・日本を実現	(11)国土と社会の安全確保	13	9	24	46	118
	(12)暮らしの安全確保	32	16	24	72	
上記政策目標に該当しない研究分野		29	13	7	49	54
未記入		2	3	0	5	
		合計件数	558	242	252	1052
		(割合)	53.0%	23.0%	24.0%	100%

第 1-2-1-5 表 実現時期別の回収成果数

成果の意義分類		成果の実現時期			
大政策目標	中政策目標	期間中に実現した	期間中に一部実現した	今後5年程度で実現が期待できる	未記入
<目標1> 飛躍知の発見・発明 ～未来を切り拓く多様な知識の蓄積・創造	(1)新しい原理・現象の発見・解明	111	128	29	7
	(2)非連続な技術革新の源泉となる知識の創造				
<目標2> 科学技術の限界突破 ～人類の夢への挑戦と実現	(3)世界最高水準のプロジェクトによる科学技術の牽引	23	31	13	0
<目標3> 環境と経済の両立 ～環境と経済を両立し持続可能な発展を実現	(4)地球温暖化・エネルギー問題の克服	10	29	13	0
	(5)環境と調和する循環型社会の実現	27	50	16	1
<目標4> イノベーター日本 ～革新を続ける強靱な経済・産業を実現	(6)世界を魅了するユビキタスネット社会の実現	11	33	11	0
	(7)ものづくりナンバーワン国家の実現	18	37	8	4
	(8)科学技術により世界を勝ち抜く産業競争力の強化	14	39	13	1
<目標5> 生涯はつらつ生活 ～子供から高齢者まで健康な日本を実現	(9)国民を悩ます病の克服	12	48	22	1
	(10)誰もが元気に暮らせる社会の実現	28	57	35	0
<目標6> 安全が誇りとなる国 ～世界一安全な国・日本を実現	(11)国土と社会の安全確保	14	21	10	1
	(12)暮らしの安全確保	13	42	17	0
上記政策目標に該当しない研究分野		6	30	11	2
未記入		1	3	0	1
合計件数		288	548	198	18
(割合)		27.4%	52.1%	18.8%	1.7%

5. 公表等

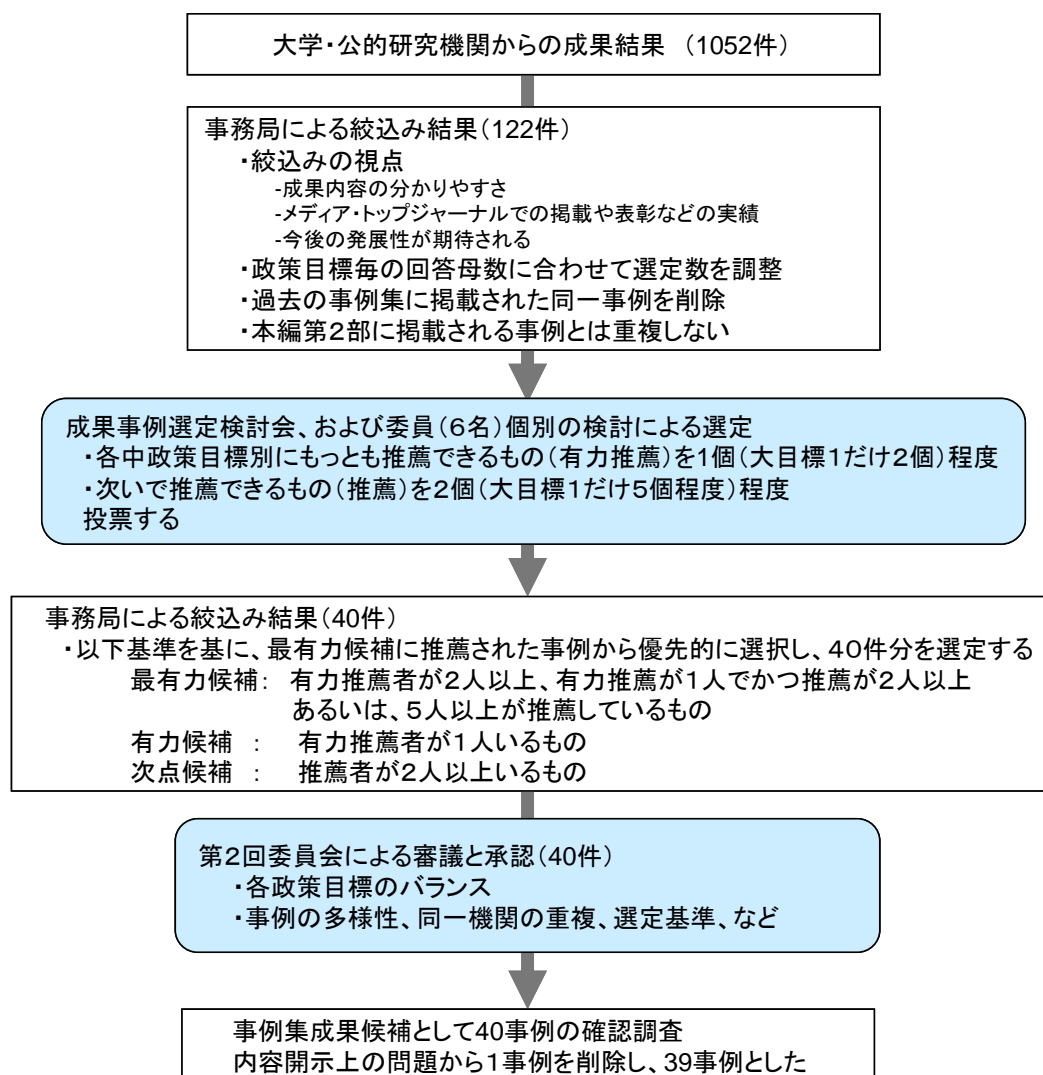
本アンケート調査により収集した成果の全件について、回答結果から成果内容を抜粋したデータベースとして取りまとめる。また、本調査の結果を、科学技術に興味のある国民にも分かりやすい形で情報発信するために、成果の意義の多様性に着目して抽出した39事例について、別版の「大学・公的研究機関の多様な成果事例集」に掲載した。

第2節 代表的成果の選定

1. 事例選定の手順

事例の候補は、以下の調査手順に従って検討し、委員による推薦によって選定した。得られた回答成果 1052 件に対して事務局 9 名が内容を吟味し、122 件まで絞込みを行った。絞込みの視点は、成果に関する記載内容（各機関による記述）が理解しやすく、重要性が分かりやすいもの、メディアやトップジャーナルなど第三者による取り上げや表彰実績があるもの、今後の発展性が期待されるもの、などである。絞り込まれた 122 件全てに対して委員 6 名が目を通し、図中に示す「最有力候補」、「有力候補」を複数選択した。成果の意義分類とした政策目標毎に、得票数の多いものから40事例を選択した。最後の詳細調査段階で内容開示に問題が生じた 1 件を除外し、最終的に合計39事例とした。第 1-2-2-2 表～第 1-2-2-3 表は、選定された代表的成果39事例のリストである。

第 1-2-2-1 図 代表的成果の選定手順



なお、得票数が多い場合でも、第 2 部「公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割」において近年の顕著な成果12事例に選定されたものは本事例の対象外とした。また、前回調査^(注)で掲載された事例(第 1-2-2-4 表参照)とほぼ同じ場合も本事例から除外した。これは、各機関に対して事例紹介の機会を出来るだけ拡大するという趣旨に基づいている。

2. 代表的成果 39 事例

第 1-2-2-2 表～第 1-2-2-3 表で、中政策目標毎の事例選定数は、3～4 件であるが、中政策目標の「(1)新しい原理・現象の発見・解明」と「(2)非連続な技術革新の源泉となる知識の創造」を明確に仕分けことが困難であったため、両者に属する成果事例数については、2つを合わせた中から7件選定した。また、成果の実現時期は、20 件が「期間中に実現した」、17 件が「期間中に一部実現した」に該当し、39 件のうち 37 件において、既に成果が顕在化している。

第 1-2-2-2 表 代表的成果39事例のリスト (中政策目標(1)～(5))

中政策目標	成果事例			選定数
	成果名	機関名	成果の実現時期	
(1)新しい原理・現象の発見・解明 (2)非連続な技術革新の源泉となる知識の創造	新系統の高温超伝導物質を発見	東京工業大学	●	7
	マイクロ波による無線エネルギー送電技術の確立	京都大学	●	
	世界で初めてシラスウナギの人工生産に成功	水産総合研究センター	○	
	細胞死の分子機構解明	京都大学	●	
	グリーンランド氷床コアから解読した過去の地球環境情報	北見工業大学	○	
	新しい光ナノ構造「フォトリソグラフィ」の開発とそれによる自在な光制御の実現	京都大学	●	
	光で生体の脳回路を見てみよう	生理学研究所	○	
(3)世界最高水準のプロジェクトによる科学技術の牽引	月の起源と進化の解明に迫る、月周回衛星「かぐや」	宇宙航空研究開発機構	●	3
	サイレント超音速飛行機「MISORA」	東北大学	○	
	地球深部探査船「ちきゅう」の建造と「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の開始	海洋研究開発機構	○	
(4)地球温暖化・エネルギー問題の克服	南北両極域における温室効果気体の観測による地球環境変動の研究	国立極地研究所	●	3
	超高効率な発電性能を有する風レンズ風車の開発と高精度な数値風況予測による風力エネルギーの有効利用	九州大学	●	
	メタンガスを原料とする水素及びナノカーボンのコプロダクション	北見工業大学	○	
(5)環境と調和する循環型社会の実現	亜臨界水処理とメタン発酵による有機性廃棄物の資源・エネルギー化	大阪府立大学	○	3
	バイオエタノールを選択的に低級オレフィンに転換しバイオプラスチック製造を可能にする触媒の開発	東京工業大学	○	
	トンネル内浅層地中熱を利用した水平Uチューブ方式によるトンネル坑口の融雪システム	福井大学	●	

成果の実現時期: ● … 期間中に実現した、○ … 期間中に一部実現した、□ … 今後5年程度で実現が期待できる

(注) NISTEP REPORT No.93 基本計画の達成効果の評価のための調査 国公立大学及び公的研究機関の代表的成果調査報告書(要約版) 2005年5月

第 1-2-2-3 表 代表的成果39事例のリスト（中政策目標(6)～(12)）

中政策 目標	成果事例			選 定 数
	成果名	機関名	成果の 実現 時期	
(6)世界を魅了するユビキタスネットワーク社会の実現	トロンが作る多漢字利用システム	東京大学	●	3
	人を引き込む身体的コミュニケーション技術(身体的引き込み技術)	岡山県立大学	○	
	時系列メディアのデザイン転写技術の開発	関西学院大学	○	
(7)ものづくりナバーワン国家の実現	常温でセラミックスを作る省エネプロセス技術	産業技術総合研究所	●	3
	世界最強の超軽量マグネシウム合金	熊本大学	○	
	未来蓄電デバイス材料の創成	関西大学	●	
(8)科学技術により世界を勝ち抜く産業競争力の強化	宇宙生活の安全性と快適性を保障する生活関連の技術開発	日本女子大学	●	3
	生物磁石合成機構の解明と医療計測への応用	東京農工大学	○	
	世界最高水準のロケットの開発	宇宙航空研究開発機構	●	
(9)国民を悩ます病の克服	個体内レドックス制御因子(酸素濃度・活性酸素・pHなど)の同時分離画像解析を可能とする多重磁気共鳴生体レドックス画像化システム	九州大学	○	3
	世界初の新規抗血栓薬の開発	三重大学	●	
	ヒトがんワクチン療法の開発	東京慈恵会医科大学	○	
(10)誰もが元気に暮らせる社会の実現	アルツハイマー病の原因物質の分子メカニズム解明	理化学研究所	●	3
	肝臓再生医療	山口大学	●	
	生体分子を標的とする分子認識を基盤とした難病治療薬の開発	京都薬科大学	□	
(11)国土と社会の安全確保	災害時に役立つヘリコプター衛星通信システム	情報通信研究機構	●	4
	巨大地震の研究	産業技術総合研究所	○	
	MPLレーダを用いた「ゲリラ豪雨」の発生予測に関する研究	防災科学技術研究所	●	
	緊急地震速報の実用化と進展	気象庁気象研究所	○	
(12)暮らしの安全確保	クロマグロ養殖産業の確立と資源保護	近畿大学	●	4
	自殺予防研究プロジェクト	秋田大学	○	
	東証マザーズ上場の主軸となった指紋認証装置の認証アルゴリズム開発	名古屋工業大学	●	
	インフルエンザウイルス感染過程の解明とその応用	科学技術振興機構 (代表研究機関 東京大学)	□	

成果の実現時期： ● … 期間中に実現した、 ○ … 期間中に一部実現した、 □ … 今後5年程度で実現が期待できる

第 1-2-2-4 表 前回調査で選定した代表的成果48事例のリスト

(P.17 (注)参照)

No.	事例名	機関
1	ニュートリノ天体物理学の開拓から始まった素粒子物理の飛躍的發展	東京大学
2	比較認知科学研究 －「進化的隣人」チンパンジーの習得する知識や技術とその世代間伝播など 霊長類を対象とした比較研究による人間の心の進化的基盤の解明－	京都大学
3	すばる望遠鏡の建設と宇宙の解明	自然科学研究機構 国立天文台
4	ネゲノム解析－イネゲノム塩基配列完全解読を達成－	(独)農業生物資源研究所
5	知識メディア技術 －知識の連携統合と再利用のための再編集・再流通メディア技術－	北海道大学
6	がんの本態解明と予防、診断、治療法の開発	国立がんセンター
7	Bファクトリーによる素粒子物理学研究の推進	高エネルギー加速器研究機構
8	ヒトES細胞の樹立と分配体制の確立	京都大学
9	技術試験衛星「おりひめ/ひこぼし」の開発及び運用 －自動ランデブ・ドッキングシステムの開発・軌道上実証－	(独)宇宙航空研究開発機構
10	脳の記憶メカニズムの解明－記憶を科学する－	東京大学
11	高効率・長寿命有機EL材料および素子の開発	山形大学
12	高速原子間力顕微鏡の開発－溶液中の生体分子をリアルタイム撮影－	金沢大学
13	テラビット情報ナノエレクトロニクスの研究・開発	広島大学
14	生殖細胞を用いた魚類の新たな発生工学技法	東京海洋大学
15	加速器科学研究の発展による113番新元素等の発見	(独)理化学研究所 他
16	生物科学と情報科学の融合－生物界に学ぶ新たな情報技術の創出－	大阪大学
17	三次元高速バイオマイクロマニピュレーションシステムの開発プロジェクト	名古屋大学
18	国際宇宙ステーションを中心とした宇宙環境利用の推進	(独)宇宙航空研究開発機構
19	放射線災害に対する先進的総合医療開発	広島大学
20	光を用いた生体計測・診断技術の研究	電気通信大学 他
21	「地球シミュレータ」－世界最高の演算性能を達成－	(独)海洋研究開発機構 他
22	シリコンシーベルトプロジェクト－システムLSI設計開発拠点の構築－	九州大学 他
23	燃料電池の劣化要因解析と加速寿命評価法の確立	山梨大学
24	世界最高分解能NMRマグネットの開発	(独)物質・材料研究機構
25	文化遺産オンライン構築への技術協力	情報・システム研究機構 国立情報学研究所
26	生ゴミからの生分解性プラスチックの生産	九州工業大学
27	防風効果を兼ねたマイクロ風力発電システムの開発	埼玉大学
28	人工衛星センサによるオゾン層モニタリング －南北両半球のオゾン破壊メカニズムを解明－	(独)国立環境研究所 他
29	温暖化防止世界統合モデル－気候変動国際政策へのインパクト－	(独)国立環境研究所 他
30	雲解像非静力学モデルの開発－豪雨・豪雪の定量的予測－	気象研究所
31	DNA型鑑定システム－機器分析による新しい鑑定システムの構築－	科学警察研究所
32	氷床コアによる気候・環境変動の解明	情報・システム研究機構 国立極地研究所
33	我が国初の高温ガス炉である高温工学試験研究炉 －原子力エネルギー利用の多様化への途を拓く技術の確立－	日本原子力研究所
34	昼夜・天候を問わない地表面観測－高分解能の航空機搭載映像レーダを開発	(独)情報通信研究機構
35	共生微生物を利用した普賢岳火砕流跡地の緑化とその効果の科学的判定	山口大学
36	深海観測・探査による沈没タンカーの調査および落下ロケット部品の発見	(独)海洋研究開発機構
37	重粒子線がん治療装置によるがん治療	(独)放射線医学総合研究所
38	成人T細胞白血病原因ウイルスの母子間感染経路の解明と 感染予防による地域内発がんの克服	長崎大学
39	GPSを用いた知床峠の除雪支援システムの開発	北見工業大学
40	ダイヤモンド状炭素膜応用技術開発 －地域密着型産学連携による低摩擦・高耐摩耗性部材の開発－	東京工業大学
41	対地雷検知装置の開発とアフガニスタンにおける適用	東北大学
42	難治性寄生虫病に関する免疫・分子診断法の開発 －疫学への応用および流行国研究者への技術移転－	旭川医科大学
43	触媒的不斉合成法の発案と確立 －実用的な触媒的不斉水素化反応の発見・開発および工業化－	名古屋大学 他
44	大口径・高密度プラズマ処理装置の開発 －低ダメージ・省エネルギー型半導体処理装置の実用化－	東北大学
45	Ti-Ni系形状記憶合金の開発と産業の創出	筑波大学
46	機能性トリアジンジチオール－ナノ薄膜利用技術－	岩手大学
47	MEMS技術の産業化－民間への技術移転、地域産業振興－	東北大学
48	急速充放電できるリチウムイオン二次電池の基盤技術開発	山形大学

第3章 成果事例の紹介

1. 全成果事例

本アンケート調査により収集した成果の全件(1052件)について、回答結果から成果内容を抜粋したデータベースとして取りまとめた。以下は、データベースに記載されている全成果を機関別にまとめたリストである。本報告書では、データベースの中身を紙面に記載するには件数が多すぎるため、付属資料に添付した電子媒体にファイルとして収容した。

第1-3-1表 成果データベースに記載された機関（国公立大学）

国公立大学（全88機関（五十音順）、558事例）	
愛知教育大学	電気通信大学
会津大学	東京大学
青森県立保健大学	東京医科歯科大学
秋田大学	東京外国語大学
秋田県立大学	東京海洋大学
旭川医科大学	東京学芸大学
石川県立大学	東京工業大学
茨城大学	東京農工大学
岩手県立大学	東北大学
宇都宮大学	徳島大学
愛媛大学	富山大学
大分大学	富山県立大学
大阪大学	豊橋技術科学大学
大阪市立大学	長岡技術科学大学
大阪府立大学	長崎大学
岡山県立大学	名古屋大学
常広畜産大学	名古屋工業大学
香川大学	名古屋市立大学
鹿児島大学	奈良教育大学
北九州市立大学	奈良県立医科大学
北見工業大学	奈良女子大学
岐阜大学	新潟大学
岐阜薬科大学	一橋大学
九州大学	兵庫県立大学
九州工業大学	広島大学
京都大学	広島市立大学
京都工芸繊維大学	福井大学
熊本大学	福井県立大学
熊本県立大学	福岡女子大学
群馬大学	福島大学
県立広島大学	福島県立医科大学
高知大学	北陸先端科学技術大学院大学
神戸大学	北海道大学
公立はこだて未来大学	三重大学
佐賀大学	宮崎大学
産業技術大学院大学	室蘭工業大学
滋賀大学	山形大学
滋賀医科大学	山口大学
島根大学	山梨大学
首都大学東京	山梨県立大学
信州大学	横浜国立大学
千葉大学	横浜市立大学
筑波大学	琉球大学
筑波技術大学	和歌山大学

第 1-3-2 表 成果データベースに記載された機関（私立大学）

私立大学（全58機関（五十音順）、242事例）	
愛知学院大学	中部大学
岡山理科大学	帝京大学
学習院大学	東海大学
関西医科大学	東京工芸大学
関西学院大学	東京慈恵会医科大学
関西大学	東京電機大学
久留米大学	東京農業大学
京都産業大学	東京薬科大学
京都薬科大学	東京理科大学
近畿大学	東邦大学
金沢医科大学	東北学院大学
慶應義塾大学	東洋大学
工学院大学	藤田保健衛生大学
国際医療福祉大学	同志社大学
国際基督教大学	徳島文理大学
国土館大学	南山大学
埼玉医科大学	日本医科大学
自治医科大学	日本歯科大学
昭和大学	日本女子大学
松本歯科大学	日本大学
神奈川大学	兵庫医科大学
聖マリアンナ医科大学	法政大学
聖路加看護大学	豊田工業大学
青山学院大学	名城大学
摂南大学	明治学院大学
川崎医科大学	立教大学
早稲田大学	立命館アジア太平洋大学
大阪工業大学	立命館大学
中央大学	龍谷大学

第 1-3-3 表 成果データベースに記載された機関（公的研究機関）

公的研究機関（全43機関（五十音順）、252事例）	
医薬基盤研究所	情報・システム研究機構 国立情報学研究所
宇宙航空研究開発機構	情報通信研究機構
海上技術安全研究所	森林総合研究所
海洋研究開発機構	水産総合研究センター
科学技術振興機構	生理学研究所
科学警察研究所	総合地球環境学研究所
かずさDNA研究所	総務省 消防大学校 消防研究センター
神奈川科学技術アカデミー	大学共同利用機関法人 自然科学研究機構
気象庁気象研究所	千葉県がんセンター研究所
基礎生物学研究所	電子航法研究所
高輝度光科学研究センター	東京都医学研究機構
港湾空港技術研究所	統計数理研究所
国際農林水産業研究センター	奈良県橿原考古学研究所
国文学研究資料館	農業環境技術研究所
国立医薬品食品衛生研究所	農業・食品産業技術総合研究機構
国立がんセンター	物質・材料研究機構
国立極地研究所	分子科学研究所
国立国語研究所	防災科学技術研究所
国立循環器病センター研究所	放射線医学総合研究所
国立天文台	メディア教育開発センター
産業技術総合研究所	理化学研究所
酒類総合研究所	

2. 代表的成果39事例

前章の第 1-2-2-2 表～第 1-2-2-3 表で示した代表的成果39事例について、成果内容や今後期待できることなどの概要を次頁以降にまとめた。

なお、政府投資による成果事例を科学技術に興味のある国民にも分かりやすい形で情報発信するために、本39事例の概要を別版の「大学・公的研究機関の多様な成果事例集」に掲載した。その際、一部の成果名については、より分かりやすくなるよう変更を加えた。

第 1-3-4 表 代表的成果39事例のリスト

No.	成果名	機関名
1	新系統の高温超伝導物質を発見	東京工業大学
2	マイクロ波による無線エネルギー送電技術の確立	京都大学
3	世界で初めてシラスウナギの人工生産に成功	水産総合研究センター
4	細胞死の分子機構解明	京都大学・大阪大学
5	グリーンランド氷床コアから解読した過去の地球環境情報	北見工業大学
6	新しい光ナノ構造「フォトリソグラフィ」の開発とそれによる自在な光制御の実現	京都大学
7	光で生体の脳回路を見てみよう	生理学研究所
8	月の起源と進化の解明に迫る、月周回衛星「かぐや」	宇宙航空研究開発機構
9	サイレント超音速飛行機「MISORA」	東北大学
10	地球深部探査船「ちきゅう」の建造と「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の開始	海洋研究開発機構
11	南北両極域における温室効果気体の観測による地球環境変動の研究	国立極地研究所
12	超高効率な発電性能を有する風レンズ風車の開発と高精度な数値風況予測による風力エネルギーの有効利用	九州大学
13	メタンガスを原料とする水素及びナノカーボンのコプロダクション	北見工業大学
14	亜臨界水処理とメタン発酵による有機性廃棄物の資源・エネルギー化	大阪府立大学
15	バイオエタノールを選択的に低級オレフィンに転換しバイオプラスチック製造を可能にする触媒の開発	東京工業大学
16	トンネル内浅層地中熱を利用した水平Uチューブ方式によるトンネル坑口の融雪システム	福井大学
17	トロンが作る多漢字利用システム	東京大学
18	人を引き込む身体的コミュニケーション技術(身体的引き込み技術)	岡山県立大学
19	時系列メディアのデザイン転写技術の開発	関西学院大学
20	常温でセラミックスを作る省エネプロセス技術	産業技術総合研究所
21	世界最強の超軽量マグネシウム合金	熊本大学
22	未来蓄電デバイス材料の創成	関西大学
23	宇宙生活の安全性と快適性を保障する生活関連の技術開発	日本女子大学
24	生物磁石合成機構の解明と医療計測への応用	東京農工大学
25	世界最高水準のロケットの開発	宇宙航空研究開発機構
26	個体内レドックス制御因子(酸素濃度・活性酸素・pHなど)の同時分離画像解析を可能とする多重磁気共鳴生体レドックス画像化システム	九州大学
27	世界初の新規抗血栓薬の開発	三重大学
28	ヒトがんワクチン療法の開発	東京慈恵会医科大学
29	アルツハイマー病の原因物質の分子メカニズム解明	理化学研究所
30	肝臓再生医療	山口大学
31	生体分子を標的とする分子認識を基盤とした難病治療薬の開発	京都薬科大学
32	災害時に役立つヘリコプター衛星通信システム	情報通信研究機構
33	巨大地震の研究	産業技術総合研究所
34	MPレーダを用いた「ゲリラ豪雨」の発生予測に関する研究	防災科学技術研究所
35	緊急地震速報の実用化と進展	気象庁気象研究所
36	クロマグロ養殖産業の確立と資源保護	近畿大学
37	自殺予防研究プロジェクト	秋田大学
38	東証マザーズ上場の主軸となった指紋認証装置の認証アルゴリズム開発	名古屋工業大学
39	インフルエンザウイルス感染過程の解明とその応用	科学技術振興機構 (代表研究機関 東京大学)

(1) 成果名：新系統の高温超伝導物質を発見

機関名：東京工業大学

新たな超伝導物質に集まる世界の注目

東京工業大学フロンティア研究センターの細野秀雄教授らの研究チームは、新たな高温超伝導物質を発見したことを2008年2月に公表した。

この発見により、新高温超伝導物質に関する研究が世界各国で開始され、2008年後半には、毎月1回以上のペースで緊急の国際会議が開催されるなど、世界的な注目が集まっている。

常識を打ち破り発掘した高温超伝導材料の“新鉕脈”

超伝導は、ある温度(転移温度)以下で、電気抵抗がゼロになる現象のことをいう。高温超伝導物質は、強力な電磁石、ロスが少ない送電線、リニアモーターカーなど、その応用は幅広い広がりを持ち、より高い転移温度を示す材料の探索が進められてきた。

超伝導が発見されたのは、1911年のことで、水銀を極低温まで冷やすと、電気抵抗がゼロになるという現象を見つけたことに遡る。この発見以降、様々な金属材料を用いて、超伝導現象の研究が行われてきた。

現在、金属系の超伝導物質ではMgB₂(2ホウ化マグネシウム)の39K(絶対温度)、一方、銅系超伝導物質では、高圧下で約160Kが最高の転移温度となっている。

今回、細野教授らが発見した新高温超伝導物質LaFeAsO(鉄を主成分とするオキシニクタイト化合物)は、これらの物質とは異なる第3の新しい超伝導物質であり、転移温度が30Kを超えるという特徴をもつ。高圧下での転移温度は、43KとMgB₂を凌ぎ、銅系の超伝導物質を除くと最高の転移温度を達成した。

これまで、鉄の磁性は超伝導との相性が悪いと信じられてきたが、その常識を打ち破り、超伝導物質の“新鉕脈”を発掘したと評価されている。昨年末に発表された米科学誌「サイエンス」が選んだ2008年科学のブレークスルーのベスト10に入った(米国化学会、および欧州物理学会の選定した2008年のハイライト成果にも選定)。また、2008年に発表された論文の中で引用回数が世界No.1になった。

高温超伝導物質の新たな時代到来への期待

LaFeAsOと同じ結晶構造を持つ類似物質は数多く存在することが知られており、物質定数の最適化などにより、さらに転移温度を高めることが期待されている。実際、一年足らずの間に、4種類の構造で、転移温度10K、38Kの物質が見出され、既に500報近くの論文が発表されるというホットな状況となっている。

現在、最も転移温度の高い銅系超伝導物質は、発見当初から約30Kという高い転移温度を示したこと、セラミックスという絶縁体が超伝導を示したことから、大きな注目を集め、“超伝導研究フィーバー”を起こし、室温での超伝導も現実になるのではないかと期待されていたが、1993年に銅水銀系酸化物で達成した転移温度を最後に記録は更新されていない。

細野教授らが発見した新たな物質は超伝導が磁場に対して極めて強く、不純物に鈍感であるなど有用な特性が明らかになりつつある。また、機構の理論的解明も進んでおり、理論と実証が相まって、銅系の絶対温度を超える物質を見出し、高温超伝導物質が「銅から鉄の時代」に移行できるかどうか、期待が高まっている。

(2) 成果名： マイクロ波による無線エネルギー送電技術の確立

機関名： 京都大学

位相制御マグネトロンの開発

マグネトロンは、マイクロ波を発生する電子管の一種である。マグネトロンの長所は、大出力かつ安価にマイクロ波を得られることである。現在のところマグネトロンは電子レンジ等に利用されているが、今後は、2 地点間の無線電力供給を行うマイクロ波エネルギー伝送技術に利用が期待されている。マグネトロンをマイクロ波エネルギー伝送技術に応用するために、位相制御が困難なマグネトロンに対する位相同期技術を確立し、位相制御マグネトロンを開発した。この位相制御マグネトロンの開発により、マイクロ波送電システムの構築が可能となり、大電力送電ビームの制御が可能となった。また、マグネトロンの低ノイズ化にも成功した。大電力ビームの形成が、低コストの民生用マグネトロンで実現できたことで、「宇宙太陽発電衛星」におけるエネルギー送電システムでの利用にも道が拓けた。

移動体へのマイクロ波無線エネルギー送電技術の開発

電力送電ビームを制御することにより、「走行中の電気自動車」、「ガスパ管内を検査する移動ロボット」など移動体へのマイクロ波無線エネルギー伝送技術を開発した。特に走行している電気自動車への無線エネルギー送電では、既存の電気自動車の航続時間を大幅に伸ばすことが可能となった。また、スイッチング素子を用いて不要放射を抑え、低消費電力化にも成功した。

宇宙太陽発電所の基盤技術の確立

クリーンなエネルギー源として太陽光により発電を宇宙空間で行い、無線で地上にエネルギーを伝送する宇宙太陽発電衛星構想が提案されている。そこでは、多数の太陽電池パネルを敷き詰めた発電衛星を静止衛星軌道上に打ち上げ、この衛星 1 基により 5～10GW の発電を期待している。この衛星で発電された電力は、高周波マイクロ波の形で地球に送電される。地上では、この高周波マイクロ波をアンテナで受電し、整流することにより商用交流電力にまで交換することを計画している。マイクロ波エネルギー伝送技術は、この壮大な宇宙太陽発電衛星構想のエネルギー送電にも利用が期待されている。

今後期待される技術の応用

大電力を出力でき、位相制御できる低ノイズマグネトロンが実現できたことにより、高出力による無線送信機、レーダー送信機、対象物を一様に加熱する工業システムへの応用が期待されている。また、移動体へのマイクロ波無線エネルギー送電技術においては、上空に無燃料で滞在し続け、近距離での無線通信の中継をおこなうような無給飛行船、災害時にライフラインに障害を来している地域に上空からのエネルギー供給を行う技術への利用が期待される。

(3) 成果名： 世界で初めてシラスウナギの人工生産に成功

機関名： 水産総合研究センター

世界で初めてシラスウナギの人工生産に成功

ウナギ養殖の種苗は天然のシラスウナギに全て依存しているが、資源量の減少により、価格の高騰等、種苗供給に不安がある。なぜ、天然の親ウナギはマリアナ海溝付近で産卵するのか、ウナギ仔魚は何を食べて成長するのかなど、生態には多くの謎が残されている。知見が少ないこともあり、人工的に種苗を生産するには ①人工的に親ウナギを成熟させ受精卵を得ること ②ふ化後の仔魚に適切な餌を見つけること ③シラスウナギに変態する前の長期間の幼生期(レプトケファルス)に良い飼育環境条件を探すこと、など技術上に多くの困難な課題があった。水産総合研究センター養殖研究所は、過去の研究成果をもとに仔魚飼育技術等を開発し、世界で初めて人工的にシラスウナギを作り出すことに成功した。

10 年がかりで仔魚の餌の開発に成功

1992 年に開始した研究の最初の課題は、雌ウナギから受精用の成熟卵が取れる確率が極めて低い人工ふ化の課題であった。シラスウナギから飼育したウナギはほとんどが雄になってしまうため、飼育過程で雌化するホルモンを餌に混ぜて雌を確保する既存技術に加えて、成熟を促進するホルモンも投与して高い確率で成熟卵を採取する方法と精子の活性を保つ方法を開発し、ふ化仔魚を得る確率は大幅に上がった。

人工ふ化に目処がついたことで、仔魚の餌選定が次の課題となった。ワムシから始まり、ゆで卵の黄身、エビやクラゲの粉末、プランクトン等、魚の餌として昔から有力な候補を 20 数種類試したが、全く食べずに死んでしまう状況が続いた。

研究が挫折しかけた 1996 年にサメの卵の粉末を与えたところ、初めてこの餌をほぼ全ての仔魚が食べたものの、生存期間が 30 日を超えることはなかった。さらに、共同研究していた企業と共に数年の試行錯誤を経て、1999 年にはサメ卵の粉末にフィチン酸を低減した大豆オリゴペプチドを加えることで、期間を 250 日にまで伸ばすことに成功。しかし、天然の仔魚は 150 日前後で変態を始めるが、水槽の仔魚は 290 日経っても一向に変態を起こさないという新たな問題が発生した。シラスウナギへあと一步のところまで研究は再び足踏み状態となった。2000 年に別の共同研究企業が開発した消化吸収しやすいオキアミの加水分解物を、これまでの餌に混ぜて給餌すると仔魚の成長は良くなり、2002 年春、250 日を過ぎた仔魚 30 尾が遂に変態を遂げ、10 年に及ぶ研究は実を結んだ。

今後期待される研究成果

開発された方法により、人工ふ化したウナギ仔魚を養鰻用種苗として利用可能なシラスウナギまで育てることが可能となった。ウナギを卵から育てる世界初の技術を開発し、将来的に完全養殖が可能となる目処がついた。本技術は、天然のウナギ資源の保護と共に、謎の多い生態の解明にも役立つと考えられ、多大な貢献が期待できる。

(4) 成果名：細胞死の分子構造解明(アポトーシスと免疫疾患)

機関名： 京都大学・大阪大学

細胞死に関する重要な因子、MFG-E8 を発見

私達の身体は約 60 兆の細胞から構成されている。身体にとって不要な細胞(古くなった細胞など)や有害な細胞(癌化した細胞など)は、アポトーシスと呼ばれる現象を起こし、細胞や細胞内部の核が凝縮、断片化することによって自動的に死滅する。その後、死滅した細胞(アポトーシス細胞)はマクロファージという細胞に貪食(飲み込まれること)された後、リソソームに存在する DNase II により速やかに分解される。ヒトの身体では毎日 10 億近くの細胞がアポトーシスを起こしている。研究チームは、活性型マクロファージから分泌される MFG-E8 という因子が、マクロファージがアポトーシス細胞を認識する際に重要な役割を果たすことを見出した。MFG-E8 はアポトーシス細胞が有するリン脂質を認識して、アポトーシス細胞をマクロファージに橋渡しする役を担っている。

細胞死が自己免疫疾患の一因であることを発見

アポトーシス細胞の貪食において重要な役割を果たす MFG-E8 を欠損したマウスに樹立したところ、このマウスの脾臓には、マクロファージに貪食されなかったアポトーシス細胞が数多く認められた。このマウスは年をとるに従い脾臓が肥大化し、また、本来存在しない自己抗体が血清中に増加していた。このため、マウスは腎炎を引き起こし、尿に高濃度のタンパク質が認められた。これより、MFG-E8 の不在により上手く分解されなかったアポトーシス細胞の一部分(核等)が体内で異物として認識され、過剰な免疫反応が起こったと考えられた。これより、貪食機構の欠陥によりアポトーシス細胞が貪食されないことが自己免疫疾患の発症の一因であることが示された。自己免疫疾患とは、自分自身の細胞を誤って異物として認識することにより起こる免疫疾患で、腎炎や膠原病(関節リウマチを含む)などがある。自己免疫疾患が起こる一因が発見されたことにより、今後の治療技術の進歩に貢献することが期待される。

細胞死が関節炎の一因であることを発見

アポトーシス細胞の分解において重要な役割を果たす DNase II 遺伝子を欠失させたマウスでは、アポトーシス細胞や赤血球由来の DNA が未分解のまま大量に残った。この時マクロファージは活性化されており、TNF を産生していた。このマウスは歳をとるにしたがって関節炎の症状を起こし、症状はヒトの関節リウマチ患者に見られる関節炎とよく似ていた。これより、アポトーシス細胞等の分解が効率よく起こらないとマクロファージが活性化され、分泌された TNF が関節リウマチの発症の一因であることが示された。ヒトの関節リウマチでは 3 割を超える患者が抗 TNF 抗体によって症状を緩和されているが、この治療法は関節炎の原因を取り除くものではない。細胞死の機能不全による関節炎発症の作用機構が明らかになることで関節炎の根本的な治療技術の進展が期待される。

(5) 成果名： グリーンランド氷床コアから解読した過去の地球環境情報

機関名： 北見工業大学

地球環境変動を写し出す極地氷床深層コア

地球環境変動に関する一連の研究の最終目的は、地球環境の将来予測を行うことである。そのためには過去の変動史の理解がベースとなる。

過去の大気の大気長期気候変動に関しては、極地氷床深層コアがほぼ唯一の情報源である。雪は大気中で生成されるため、過去の雪が堆積した極地にある氷床の深層コアを解析することによって、大気の変動に関する詳細な情報を得ることが可能である。

氷期・間氷期サイクルは両極でほぼ同期しているが、気候変動の「きっかけ」(トリガー)となるイベントや変動メカニズムを解明するためには、両極のコア情報を詳細に比較解析することが重要である。

全地球的環境変動の全貌を初めて明らかに

北見工業大学の研究チームは、グリーンランド内陸部で新たに採取された氷床深層コアの解析から、最終間氷期から現在に至るまでの過去 12.3 万年間について、北半球の詳細な気候変動を明らかにした。特に、氷期中のダンスガード・オシュガー・イベント(急速な気候振動)が地球規模の広域事象であることを明瞭に示している。例えば、最終間氷期(サンガモン間氷期)中は、温暖気候(現在より 5℃上昇)であったことが示されており、それは南グリーンランド周辺部の氷が融出して氷床規模が縮小していたことを示唆している。

本研究において解析されたコアは、北半球の環境変動史としては最も長期で信頼性の高い情報を与えるものであり、南極コア情報との相関解析を行うことによって、全球的環境変動の全貌を世界で初めて明らかにすることができた。

今後期待される研究成果

気候変動要因のうち大気過程に関する変動については、氷床の盛衰に要する時間(数百年以上)などよりもかなり短時間(数十年程度)のうちに起こることが知られている他、先に述べたように、地球の環境変動、特に気候変動は、南北両半球でほぼ同期して起こっていることが判っている。しかし、実際に「変動のトリガーとなる事象は何か」、「変動をリードするのは、南北両半球のうちどちらであるか」といった基本的な気候変動要因の問題については、まだ不明な点が多い。本研究の成果によって、南北両半球のそれぞれを代表する長期的大気変動の情報源が揃ったことになる。今後は、より時間分解能の高い高精度コア解析がさらに開発・推進され、南北両半球の多様な変動要素に関する相関解析によって、地球上の気候システムが或る状態から別の状態へと変化してゆく過程の詳細なシナリオの背景が解明される、と期待される。

(6) 成果名：新しい光ナノ構造「フォトニック結晶」の開発とそれによる自在な光制御の実現

機関名： 京都大学

光を自在に制御するフォトニック結晶が新たな世界を開く

モルフォ蝶やタマムシなど、昆虫の中には見る角度によってきれいな金属光沢を示すものがある。これは二つの光の波が重なり方によって強め合ったり、打ち消し合ったりする干渉現象によるもので、構造発色と呼ばれている。このような構造をナノレベルで人工的に作り込んだ「フォトニック結晶」によって光を自由自在に制御しようという研究が注目されている。フォトニック結晶とは、周期的な屈折率分布をもつ光ナノ構造であり、光の発生から、伝播、蓄積、増幅、発振に至るまで、全ての面に渡って、従来にない新しい光制御を可能にする。

このようなフォトニック結晶の応用により、光通信、光記録、照明、センシングなど様々な光技術の分野で革新的な発展をもたらすものとして期待されている。

フォトニック結晶の第一人者による研究の飛躍的進展

京都大学大学院工学研究科(電子工学専攻)の野田進教授は、光を自在に制御可能なフォトニック結晶の研究において、これまで一貫して、世界を先導する独創的な成果を挙げてきた。フォトニック結晶の研究は当初、マイクロ波領域の研究に留まり、光領域での完全結晶や、自然放出制御などフォトニック結晶のもつべき最も重要な光制御の可能性については全く手が付けられなかったが、野田教授が大幅な飛躍をもたらした。

光波長域で、世界初の3次元結晶の実現、自然放出制御の実証、さらには1次元の低い、2次元結晶により3次元結晶に勝るとも劣らない光制御を可能にする概念の提唱、さらに全く新しいフォトニック結晶レーザの概念の提唱・実現に成功したことなどがその内容である。

より具体的には、2次元結晶によるQ値250万という驚異的なナノ共振器の実現、大面積で単一縦横モード面発光動作可能なフォトニック結晶レーザ、さらには、その青紫色領域の展開など、産業化に向けた着実な進展も実現している。

さまざまな産業応用が期待される研究成果

フォトニック結晶の研究は、従来と比べて2~3桁も小さな光ナノデバイスや様々な光の制御を一括して行うことの出来る光チップ、自然放出制御デバイス、単一光子光源、光メモリ等、大面積コヒーレント面発光レーザ等、様々な新規デバイスの実現など、光科学分野における様々な革新的成果へとつながるものと予想される。また、量子通信・演算のような新技術の実現にも資するものと期待され、その学術的価値は極めて高いと評価される。また、研究成果は、産業界にも大きな影響を与え、現在、10社を超える企業との実用化に向けた共同研究が進められている。

(7) 成果名： 光で生体の脳回路を見てみよう

機関名： 生理学研究所

世界最高の到達深度を持つ生体微細構造観察技術

生きた動物（マウスなど）の脳内神経ネットワークの可視化技術として、新しいレーザー光学系である多光子励起法の光学系の改良を行い、世界でトップクラスの深部到達性を有する 2 光子顕微鏡を構築した。多光子励起とは、1 つの蛍光分子に 2 つの光子を同時にあてる革新的イメージング法である。

この方法により、今まで観察できなかった生きた個体の脳の中の細かな構造や活動を観察できるようになった。具体的には、遺伝子操作などにより特定の細胞・組織に蛍光分子を発現させた動物において、高解像度を保ったまま脳表面から約 1mm というこれまでの水準の約 2 倍の深部の微細構造を観察することが可能となった。

脳の発達や回復に伴う神経回路の再編成が明らかに

生体深部微細構造技術の飛躍的向上によって、マウスでは大脳皮質全層にわたって、神経回路ネットワークをはじめ神経細胞やグリア細胞、さらには神経細胞間の情報伝達部であるシナプス構造をサブミクロンレベルで観察することができるようになった。さらに、生体観察用装着アタッチメントを開発し、ミクロンレベルの微細構造を長時間にわたり安定して連続観察できる技術を構築することに成功した。

これらの技術をモデル動物に応用し、脳障害後の脳機能変化の基盤であるネットワークのダイナミックな変化を観察した。脳虚血などの脳障害回復期には、正常脳では非常に安定であるシナプスの盛んな消失・形成が観察された。また、脳内免疫細胞であるミクログリアの働きの脳障害時における変化を観察することができた。

即ち、これまで見る事が出来なかった、発達期および障害後におこる代表的な神経ネットワーク再編である余剰回路の除去とグリアの働きなどをリアルタイムで可視化することができた。この成果を用いて、脳障害に際する機能回復期におけるリハビリの有効性も明らかになりつつある。

癌細胞など生体内局所観察やピンポイント薬剤投入へ

生体内の微細構造観察技術は脳以外の様々な臓器・組織のリアルタイム観察も可能であり、免疫細胞や癌細胞の観察や微細血流動態など様々な応用が可能である。今後、光ファイバーなどを用いたレーザー導入系による新たな内視鏡技術開発への展開が見込まれる。また、薬剤をはじめ活性分子の生体内極局所での活性制御・導入など、高精度の操作技術としての応用が期待できる。

一方、この技術を用いて新たに観察できたミクログリアの脳回路監視メカニズムを利用して、脳障害治療において、障害回路への選択的薬剤導入などへの応用も期待できる。

(8) 成果名： 月周回衛星「かぐや」

機関名： 宇宙航空研究開発機構

“日本版アポロ”日本初の月探査機

宇宙航空研究開発機構は、2007 年 9 月に月周回衛星「かぐや」を打上げ、10 月には月周回軌道へ到達した。「かぐや」は米国のアポロ計画以後の最大級の月探査プロジェクトである。

プロジェクトの主な目的は、月がどうやってできたのか、その後どのように進化したのか、そして今どうなっているのか、という月の起源と進化を解明することや、将来の月の利用のために様々な観測をすることである。これまでに、ハイビジョンカメラによる月面や、美しい地球の入り、出等の映像が届いているほか、13 種類の科学観測機器による月の観測データが取得されている。

月の利用可能性の検討にも

「かぐや」により取得された科学データは、現在も研究が進行中であるが、これまで得られていなかった詳細な月の地形図、極域におけるクレーター内部の永久影（太陽からの光が1年を通して全く当たらない場所）や日照条件に関する知見をもたらしている。また、これまで十分な研究がなされていなかった月の裏側の海（モスクワの海など）の形成年代、クレーター中央丘の鉱物組成、月周辺のプラズマ環境等が解明され、月の進化を以前より正確に推定することができるようになった。

「かぐや」の科学観測データによって、今後さらに詳しい月の起源と進化の解明が期待されるとともに、月の環境把握、利用可能性の検討につながる成果も期待されている。

例えば、月面基地は次第に、私たちにとって夢物語ではなくなってきている。月面基地に向けた月探査のシナリオが、諸外国だけではなく、日本でも考えられつつあり、基地に使うことができる基礎的な技術の研究も進められている。

また、月を知ることができると、初期の地球や太陽系の様子を知る手がかりが得られ、月を知ること、地球を知ることでもあるといえる。

「かぐや」に続く月着陸探査機にも期待

さらに、「かぐや」の後継機で月への着陸探査を行う「SELENE-2」探査機が検討されている。着陸月面探査が実現すれば、外から見ては分からない月の内部構造や、直接月表面の地質に関する調査を行うことができ、月の起源と進化、さらには地球の生成過程の解明につながる貴重な成果が得られると期待される。

(9) 成果名：サイレント超音速飛行機「MISORA」

機関名： 東北大学

超音速旅客機「MISORA」

世界の超音速飛行旅客機としては、「コンコルド」が 2003 年 10 月まで営業飛行していたが、以降、飛行していない状態が続いている。現在進行中の東北大学による基盤研究の成果として、サイレント超音速飛行の飛行実証機「MISORA」が提案される見込みである。

騒音問題の解決に向けて

超音速旅客機(SST:Supersonic transport)実用化の問題点は、航続距離や燃費の悪さという技術問題だけではない。騒音問題といった環境への問題が大きな比重を占めている。現在欧米では、騒音問題を解決するために小型超音速機の研究開発プロジェクトが進められている。一方、我が国でも、第 3 期科学技術基本計画の分野別推進戦略においてソニックブーム(超音速機に固有の騒音)の低減が掲げられおり、宇宙航空研究開発機構においてソニックブームを半減する機体設計技術の実証を行う「静粛超音速研究機の研究開発」が検討されている。しかし、大型旅客機として SST が成立するための技術革新はまだ十分ではない。

そんな中、2003～2006 年度に「サイレント超音速飛行実現のための実験・計算融合研究」(科研費基盤研究(A)、東北大学 大林茂教授ら)が実施され、超音速複葉翼理論が提案された。この理論は、古典的なブーゼマン翼の概念を応用し、

2 枚の翼を用いて衝撃波を干渉させることで、造波抵抗を低減しつつソニックブームを根本的に削減できるというものである。これは、大型の超音速旅客機にも応用可能な革新的空力形状のコンセプトである。

引き続き 2007～2009 年度に同研究者らによる「超音速複葉翼理論に基づくサイレント超音速機の基盤研究」(科学研究費補助金基盤研究(A))が実施中であり、3 次元の翼理論が完成し、具体的な飛行実証機(ソニックブーム低減研究機、Mitigated SONic-boom Research Airplane (MISORA)の形状についての研究が進められている。

飛行実証成功への期待

今回の研究は、温故知新と実験・数値流体力学による新しい設計技術の組み合わせにより、新しい学術的可能性を探った点で独創的なものである。また、他の低ブーム(騒音の低減)理論である、細長物体理論、Seabass 理論に続く第 3 の理論と位置づけることができ、大きなポテンシャルを持っている。

今後、無人の模型飛行機による飛行実証が成功すれば、宇宙航空研究開発機構におけるサイレント超音速飛行実証計画とタイアップし、より大型の飛行実証を経て、産業界への提案が期待される。

(10) 成果名：地球深部探査船の建造と南海掘削

機関名：海洋研究開発機構

世界一深く掘ることができる科学掘削船「ちきゅう」

海底下 7,000 メートルの掘削能力を有し、マントルや巨大地震発生域への大深度掘削を可能とする世界初のライザー式科学掘削船「ちきゅう」の開発と建造に成功した。「ちきゅう」は 2005 年に就航し、下北半島沖東方沖及びケニア・オーストラリア沖での試験掘削を経て、2007 年 9 月より最初の研究航海となる「南海トラフ地震発生帯掘削計画（略称：南海掘削）」を紀伊半島沖熊野灘において開始した。

南海掘削における数々の発見

「南海掘削」は、統合国際深海掘削計画(IODP)の一環として南海トラフにおいて地震・津波発生過程を解明することを目的とした研究航海であり、138 日間(2007 年 9 月 21 日～2008 年 2 月 5 日)に亘る「ステージ 1A」期間中に 12 カ国、延べ 60 名を数える科学者が「ちきゅう」に乗り込み、以下のような成果を挙げることに成功した。

- 1 南海トラフ付加体の先端において、巨大分岐断層の浅部およびプレート境界断層の浅部をそれぞれ貫通し、それら断層を含む上下の地層を採取することに成功した。これらの断層境界の試料は、断層破壊現象のメカニズム解明の研究に供されている。
- 2 掘削同時検層(LWD)という手法で電気伝導度、地層密度、音波伝搬速度等の現場計測を行い、最大海底下 1400 メートルまでの連続計測に成功した。これらのデータは採取したコア試料や音波探査記録との対比により詳細地質構造解明に寄与するとともに、広域応力場の変化・変遷の解明に寄与した。
- 3 熊野前弧海盆の海底下 220～400 メートルの区間にメタンハイドレートに富む地層が分布していることを明らかにした。

地震発生メカニズムの解明に期待

「南海掘削」は今後段階的に実施され、最終的には地震発生帯に到達する掘削を行い、その直接観測すること及び掘削孔を利用した長期連続観測を実施し、地震発生メカニズムを解明することが期待されている。

海底下 7,000 メートルまで掘削可能である「ちきゅう」は、マントルへ到達することが可能であり、大陸の移動、大規模な火山活動等を続ける地球内部の動的挙動の原動力を解明することが期待される。また、海底下の地層・岩石に残された記録を紐解くことにより、過去の気候変動、生物の活動を解明し、生命の起源などについて新たな知見をもたらす、人類の未来を開く成果をあげることが期待される。

このほか、資源の乏しい我が国において、石油・天然ガス、メタンハイドレート等の新たな海底資源の探査・開発への貢献も期待される。

(11) 成果名：南北両極域における温室効果気体の観測による地球環境変動の研究

機関名： 国立極地研究所

世界で利用される昭和基地の温室効果気体観測

大気中の温室効果ガスの増加に伴う気候変動についての予測精度を高めるには、まず地球表層での温室効果気体の循環を定量的に把握する必要がある。こうした観点から、国立極地研究所では、温室効果気体の人為的発生源に近い北極スバルバル諸島ニーオルスン基地及び地球大気の把握に適した南極・昭和基地において、温室効果気体の観測を継続している。特に昭和基地での二酸化炭素濃度連続観測は 1984 年から現在まで継続しており、世界各国の研究者から高く評価され、地球表層での二酸化炭素循環の研究に使用されている。

小型・高精度の酸素濃度連続観測システムの開発

大気中の酸素濃度の変動は二酸化炭素濃度の変動と密接に関係しており、両者を併せて解析することで、大気中二酸化炭素の放出源・吸収源の変動に関する知見が得られる。しかし、酸素濃度を高い精度で観測することが困難であったため、観測例は限られていた。

国立極地研究所では、小型で高精度の酸素濃度連続観測システムの開発に成功し、2008 年から昭和基地での酸素濃度の連続観測を開始した。大気中の酸素濃度は、陸上生物圏活動及び化石燃料消費に伴う変動に加えて、海洋生物活動及び海水温の変動に伴う溶解度の変化によっても変動する。昭和基地での連続観測ではこのような大気－海洋間の酸素交換による酸素濃度変動も検出することが可能である。今後観測データを蓄積することにより、大気中の二酸化炭素の放出源・吸収源に関する知見に加えて、南極域の海洋環境変動に関する情報を抽出することが期待されている。

メタンの放出・消滅メカニズム解明への期待

二酸化炭素に次いで重要な温室効果気体であるメタンは、その放出・消滅メカニズムに未だ不明な点が多く、将来の濃度予測は困難である。

国立極地研究所ではメタンの放出・消滅過程に関する情報を持つメタン同位体比の新たな分析手法を確立し、北極ニーオルスン基地及び南極昭和基地での系統的観測を開始した。更に、メタン濃度と同位体比をあわせて解析することで、メタン濃度の変動原因を大気観測から推定する手法を構築した。1998 年に北極域で観測されたメタン濃度の急増が湿地域からのメタン放出の増大と森林火災によるメタン放出に起因することを明らかにしている。

2007 年から 2008 年にかけて地球規模でメタン濃度の急上昇が観測されており、メタン濃度の再上昇が始まったのか、あるいは一時的な増加にとどまるのか、注意深く監視する必要がある。このようなメタン濃度の変動原因の解明に、国立極地研究所が南極・北極域で観測しているメタン同位体データが重要な役割を果たすと期待されている。

(12) 成果名： 超高効率な発電性能を有する風レンズ風車の開発と
高精度な数値風況予測による風力エネルギーの有効利用

機関名： 九州大学

日本の風力発電の現状

風力発電システムは、地球温暖化の原因である二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギー源の1つとして普及が進んでいる。しかし日本では、ヨーロッパに比べると、風力が弱く、風向も頻繁に変わるため、風力発電に適していない。このため、日本では、発電用大型風車が海岸沿いなどの限られた地域にしか設置されていない。

風レンズ風車の開発

日本において、風力発電から安定した発電量を得るためには、弱い風でも高出力が見込める風力発電システムが必要となる。そこで開発されたのが「つば付きディフューザ風車」、通称「風レンズ風車」である。風レンズ風車には、風車翼を囲むように風レンズ(集風体)が取り付けられている。通常、流体機械は流れに対して滑らかに設計されるが、風レンズ風車は流れを遮るようにつばが取り付けられている。このつばによって発生する渦の作用で、ディフューザ内に風を集めるのである。この風レンズを風車に装着することで風車翼に流入する風が増速し、これにより弱い風でも発電が可能となる。風レンズ風車は、従来の風車の3～5倍の発電出力を達成すると同時に、静粛性、安全性にも優れており、国内外で実用化が進んでいる。風レンズ風車が大量に生産され、風況の良い適地に設備されていくと、太陽光発電よりも高い設備利用率が期待され、二酸化炭素の削減にも大きく貢献することになる。

風況解析ソフト RIAM-COMPACT(リアムコンパクト)の開発

風力発電で効率の良い発電を行うには、風速の速い地点に風車を設置することが重要となる。しかし、既存の風速分布データは、風車開発地点の地形データが考慮されておらず、ピンポイントな開発地点の決定が困難であった。そこで、地形データに基づく風の流れを解析し、解析結果をGISに統合する風況解析ソフト RIAM-COMPACT を開発した。これにより、風速の強弱だけでなく、風の乱れの状況、法規制の有無、アクセス道路状況、騒音や景観への影響など、総合的な見地から風車建設地点を選定することができるようになった。

風力エネルギーの普及に向けて

今後は、数 MW 級の大型レンズ風車によるエネルギーファームの実現を目指していく。具体的には、第2世代炭素繊維材料を用いた、洋上浮体風力発電プラットフォームの設置を検討している。大型レンズ風車による発電が実現すれば、発電コストを大きく削減できる。また一方では、数 KW 級の風レンズ小型風車において、軽量化、風車用パワーコンディショナーの開発、低コスト化を図り、小型分散電源として、風況の良い一般家庭や事業所への普及を目指していく。

(13) 成果名：メタンガスを原料とする水素及びナノカーボンのコプロダクション

機関名：北見工業大学

メタン直接改質法の成功

工業用に主要な水素を製造するにあたっては、現在のところ、メタンを原料とする水蒸気改質法 $[\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2]$ の利用が一般的である。しかし水蒸気改質法は、二酸化炭素を副生する問題点を孕んでいる。そこで、水蒸気改質法の代替技術として、メタン直接改質法 $[\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2]$ を、産学官連携により開発した。この方法では、1日当たりメタン 24 m³を改質して、水素を 30 m³及びナノカーボン(カーボンナノチューブが主体)を 8kg 併産できる。このナノカーボンは、軽量性、耐熱性、熱伝導性などに優れているため、様々な応用が期待されている。

カーボンナノチューブの低コスト生産

カーボンナノチューブの製造コストは、通常 1kg あたり 3～4 万円である。しかし、メタン直接改質法によれば、水素製造の副産物としてカーボンナノチューブを得ることができる。カーボンナノチューブの製造コストは、生物系廃棄物由来のバイオメタンを原料にすれば、さらに抑えることができる。カーボンナノチューブの低コスト生産によって、これまで単価が高いために実用化が見送られてきた開発品の商品化が進むと期待される。

カーボンネガティブの実現

バイオメタン直接改質法は、①牛や豚などの家畜の排泄物をメタン発酵させたバイオガスからのメタン分離、②メタンに酸化アルミニウムを担体として鉄を担持させた触媒を加えて加熱、③メタンを分解してカーボンナノチューブと水素を抽出、という工程からなる。カーボンナノチューブの生産方法が、これまで多量の二酸化炭素を排出したのに対し、このプラントでは、二酸化炭素を発生させずに、バイオメタンの炭素源であった二酸化炭素をカーボンナノチューブとして固定すること、すなわちカーボンネガティブの実現に成功している。

バイオガスイノベーション

バイオメタン直接改質技術は、バイオメタンの供給、バイオメタンの直接改質、ナノカーボンのアップグレーディング、ナノカーボン応用製品の製造・販売などに係わる地域新産業を創出できる可能性がある。バイオメタンは現在、オンサイトコジェネレーションや汎用ガス燃料に利用されているが、それぞれ低い売電価格、高い貯蔵・輸送コストなどの問題に直面している。メタン直接改質によりバイオメタンをカーボンナノチューブに変換すれば、高い単価、低い貯蔵、輸送コストなどの点で、競争力が高まる。

(14) 成果名： 亜臨界水処理とメタン発酵による有機性廃棄物の資源・エネルギー化

機関名： 大阪府立大学

亜臨界水処理技術の必要性とメカニズム

現在、日本で発生する廃棄物の 70%は有機性廃棄物であり、大半は焼却後に埋め立てられている。今後、廃棄物ゼロを目指すゼロエミッション社会を実現するにあたっては、有機性廃棄物から有価物やエネルギーを回収し、有機性廃棄物を大幅に減量化する技術が必要となる。そこで、有機物を分解する力を有する亜臨界水の特性に着目し、有機性廃棄物から有価物を製造する亜臨界水処理技術を開発した。亜臨界水は、臨界点(水の温度・圧力を 374℃、22MPa 以上まで上げ、水でも水蒸気でもない状態となる点)よりもやや低い状態にある、強い酸化力を持った水である。この技術を用いて、多種の有機性廃棄物(魚あら、ホタテ・イカの内臓、肉骨粉、下水汚泥、木材、セルロース、おから、玉ネギ、生薬残渣、廃繊維、水生植物、使用済みの高分子多層フィルム)の亜臨界水処理実験を行ったところ、5 分前後で様々な有価物を得ることができた。

有機性廃棄物から生成できる有価物

例えば、「魚あら」を亜臨界水で処理すると、DHA や EPA を含む油を瞬間的に抽出でき、健康食品に用いることができる。またアミノ酸も抽出でき、医薬品や調味料に用いることができる。しかも、蛋白質が分解され有価物として回収されることで、排水処理の必要がない。他にも、水溶性の蛋白質を亜臨界水で処理すると、生分解性プラスチックが生成することが分かった。この生分解性プラスチック合成技術が進めば、製造コストを従来の 10 分の 1 に抑えることができる。

亜臨界水処理技術による下水汚泥の処理

大阪府立大学が開発し建設した、連続亜臨界水処理プラント(能力 4t/日)は、市販のステンレスチューブで 300℃、10MPa の条件まで対応できる。特別な金属を要せずコストが安いなど、こうした導入のしやすさも亜臨界水処理装置の魅力であり、これまで 4 社の企業が大阪府立大学から技術移転した。この方式の商用プラント(能力 70t/日)が大阪エコタウンで稼働している。

さらにフィージビリティスタディーとして、汚泥が 1,000t/日発生する堺市の下水処理場への亜臨界水処理装置とメタン発酵装置の設置を検討した。検討の結果、以下のことが明らかになった。

- ・従来 1 ヶ月を要するメタン発酵が 1~6 日で完了する。
- ・得られたメタンを発電に供することで有効使用できる。
- ・二酸化炭素を年間 3,254t削減できる。

この亜臨界水処理技術に関連して、亜臨界水処理プラント、高速高消化率メタン発酵装置、ガス発電、メタンガス純化装置、メタンガス充てん装置、メタンガスモーターバイクなども開発し、実用化に向けた検討が行われている。

(15) 成果名： バイオエタノールを選択的に低級オレフィンに転換し
バイオプラスチック製造を可能にする触媒の開発

機関名： 東京工業大学

バイオマス利用の有効性と課題

バイオマスの利用は、石化資源に依存せず、地球温暖化防止を進めるという意味で重要である。ただし、バイオマスを多様な特性を有する物質に転換するには、新しい化学反応とそのため
の触媒開発等が重要である。例えば、バイオマスからポリ乳酸を生産する技術は開発されている
が、用途に適した物性制御や機能の実現が難しく、幅広い実用化には至らないでいる。

本研究ではバイオエタノールを選択的にエチレン、プロピレン、ブテン(これらをあわせて低級
オレフィンという)に転換する触媒系の開発に成功した。この反応プロセスは基本的に二つの反
応から成り立っている。エタノールを脱水してエチレンを選択的に生成するプロセスと、エチレン
からプロピレンやブテンを生成するプロセスである。数年前にこれらの反応に活性のある触媒が
開発され、それらを結びつけることによって全く新しいバイオマス資源化反応の開拓に成功した。

実用化に向けての動き

この研究の成果はバイオマス原料を出発物質とするバイオポリマー合成に道を拓くものとして
大きな注目を集めた。新聞等で紹介されるとともに、企業の大きな関心を呼び、平成 20 年度スタ
ートのNEDOプロジェクトに採用された。このプロジェクトでは出光興産、住友化学、トヨタ自動車、
日揮等と共同研究を実施し、さらなる展開を図っている。トヨタ自動車は、本プロセスで生産され
たオレフィンをまず自動車用バンパー(ポリプロピレン)、シート材料(ポリウレタン)等に展開し、自
動車で用いるプラスチックをバイオマス原料由来に切り替える構想を持っている。

期待されるインパクトとさらなる展開

バイオマス資源を活用して新しい化学品を合成するプロセスは、地球温暖化を防止し、再生
可能なバイオマス由来の化学工業体系を築くための必須の構成要素となっており、本研究はそ
の中でも重要な成果と位置づけられる。バイオマス資源の利活用プロセスにおいては、従来の化
学工業体系では検討されることのなかった種々の新反応の開発が必要になる。この分野の発展
によって、化石資源に頼らない循環型の世界を構築できる可能性がある。

また、この研究を実施している研究室では、リグノセルロースを新プロセスによって直接種々の
化学品に転換するプロセスを開発中である。この成果は上記のバイオエタノール転換プロセス以
上に大きなインパクトを世界に与えると考えられる。

(16) 成果名：トンネル内浅層地中熱を利用した水平 U チューブ方式による
トンネル坑口の融雪システム

機関名： 福井大学

水平 U チューブシステム(HUT)のメカニズム

トンネルの坑口は、機械による除雪が難しく、冬期に交通事故が多発しやすい。トンネル坑口における融雪・凍結防止技術は、交通事故防止に大きな働きをする。そこで、路面温度がトンネル坑口よりトンネル内部において高くなる「トンネル内保温効果」を利用して、水平 U チューブシステム(Horizontal U-Tube、HUT システム)による坑口路面凍結防止システムを開発した。

坑口路面凍結防止システムは、水平 U チューブで地中熱を採熱する部分と地中熱を放出するための放熱パイプを有する坑口無散水舗装からなる。HUT で採集された熱は、熱輸送流体(水)となって放熱パイプに供給され、坑口舗装を暖める。舗装内を通過後に冷えた流体は、再び HUT を通過する間にトンネル内の地中熱を収集して昇温し、ロードヒーティングの熱源となる。

HUT 利用のメリットと実績

初期費用が 25%削減できる。また、電熱式ロードヒーティングに比べて、維持費は約 10 分の 1 に抑えることができ、二酸化炭素の排出は年間約 11t (90%)削減することができる。

さらに、凍結防止剤の散布が不要なため、沿道環境への負荷も低減できる。

HUT システムは気温が約 -5°C 以上であれば、トンネル内近傍での凍結防止が可能である。またトンネル長として 1km.以上であれば、安定的に性能を発揮する。現在までに HUT は、国道 49 号線、国道 483 号線および国道 8 号線など 9 ヶ所で利用されている。

HUT の普及に向けて

道路の維持管理にコスト削減が求められるなか、自動制御が可能な融雪システムに対する需要は、今後ますます高まる。また、維持管理が安全かつ容易で、環境にも配慮した自然エネルギー活用型の融雪システムであることが望まれる。こうした融雪システムの需要に応えるべく、HUT システムは進化を続けている。

今後は、HUT の伝熱モデルが完成したので、初期コスト低減をするために、HUT の構造や材料を見直していくこととなる。

(17) 成果名：トロンが作る多漢字利用システム

機関名： 東京大学

きわめて網羅性の高い漢字フォントセットを開発

トロンプロジェクトにおいては、「収録文字数に制限のないトロンコードと、それをサポートするトロン仕様の多文字 OS の普及」を目指しており、その一環として作成された漢字フォントセットはトロンコード上に 12 万字×3 書体(明朝、ゴシック、楷書)を実装したもので、世界最大の 36 万文字からなる。12 万文字の漢字セットの中には、『大漢和辞典』や『康熙字典』などの漢和辞典に収録されている文字、宋明時代の文献を基に抽出された異体字、古典で用いられる金文の釈文から抽出された文字のほか、住民基本台帳文字セットに収録された変体仮名やコミックなどで用いられる濁点かな文字(例えば「あ」に濁点がついたものを 1 文字として表現するようなケース)なども含まれており、漢字のみならず最近の言語文化にも対応した、きわめて網羅性の高いものとなっている。

外字問題解決につながるフォント利用システムの開発

文字をコンピュータ上で利用する場合、Shift_JIS や Unicode 文字コードを用いるが、扱っている漢字数に限界があり、そこに含まれない一部の漢字「外字」として処理してきた。この「外字」が統一されていないため、システム間でのデータ変換などがしばしば問題となる。

一方、トロンコードにおいては、「少しでも違う可能性のあるものは全て見分けられるようにする」というポリシーのもと、少しでも異なるようなものも一意に識別できるようにしており、ユーザが Shift_JIS 等をベースとした既存のソフトウェアシステム上で、トロンコードを活用することができれば、外字の処理に苦しまなくて済む。このために「フォントトレーサビリティシステム」を開発している。これは扱っているコンテンツ中に含まれる外字をトロンコードに対応付けたうえで、S_JIS 等の既存の文字コード上の外字として構成するシステムである。この仕組みにより、前段の多漢字セットを既存のシステム上で取り扱えるとともに外字表の共有管理も容易となる。

ユビキタス社会のインフラとして期待

本研究の成果は、社会に根底を構成する地名や人名を、外字を使わずにユビキタスネットワーク上で相互に交換することを可能にするものであり、これを東京大学より無償公開することによって、我が国のユビキタスネットワーク社会の根底を支えるインフラとなると考えられる。

この成果は今後長期にわたって利用されるものとして、また、漢字を用いる中国や台湾、韓国・朝鮮といった文化圏の文字文化の多様性を保持しつつデジタル化を推進するものとして、大きな波及効果が期待されるものである。

(18) 成果名：人を引き込む身体的コミュニケーション技術（身体的引き込み技術）

機関名：岡山県立大学

身体的コミュニケーションシステムの確立

人のコミュニケーションは、言葉だけでなく、うなずきや身振りなどの身体的リズムの共有によっても成立している。本プロジェクトでは、人の身体的リズムをロボットや CG キャラクターのメディアに導入することで、人を引き込む身体的コミュニケーションシステムを開発した。本システムは、乳幼児からの言語獲得に必要な身体的リズムの引き込みに基づくコミュニケーション支援システムで、情報機器を介して人と人を繋ぎ、思いを飛躍的に伝え合える有力なツールである。特に、音声から豊かなコミュニケーション動作を自動生成する iRT(インタロボット技術)は、人と関わるロボット玩具、携帯電話・インターネット等の音声インタフェース、ゲームソフト・音声認識ソフトへの導入など、教育、福祉、エンタテインメントをはじめ人とのかかわる広範囲な領域で応用が可能である。実際 2000 年には、大学発ベンチャー「インタロボット株式会社」が設立され、2008 年 9 月には、人の言葉に合わせてうなずく葉っぱ型の玩具「ペコッぱ」が製品化された。「ペコッぱ」にも搭載された iRT は、IT を活かす本格的なヒューマンインタフェース技術として開発が大いに期待される。

集団コミュニケーションへの応用

JST(科学技術振興機構) CREST 研究領域「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤研究」に「人を引き込む身体性メディア場の生成・制御技術」が採択され、2006 年 10 月から 5 年間の予定で研究開発を進めている。本プロジェクトでは、観客があつてこそ成立するメディア芸術の創造支援を対象として、演者の音声・音響に基づいて引き込み反応する観客 CG やメディアロボットなどの仮想観客を生成して、身体的引き込みにより場を盛り上げ、場の雰囲気をつくる技術を開発している。本技術・システム開発により、仮想観客を生成することで、演者は本番さながらに演じることができ、また実在の観客に仮想観客を交えることで、演者だけでなく観客も引き込み、演者のパフォーマンスを最大限引き出すことができる。また、放送大学などが所有する収録講義ビデオに身体性メディア場を挿入することで、ビデオの教育効果を高めることができる。もちろん、収録の段階からメディアの場を生成・制御して、高品質のメディア教材を作成することも可能である。1 対 1 の対面コミュニケーションだけでなく、こうした集団コミュニケーションの場を生成するシステムについても開発を進めている。

いずれ、ロボットが人間とあうんの呼吸で、動き出すことが可能になる。人間と本格的にかかわり、その場を和ませ、盛り上げるなど、コミュニケーションの場づくりにその力が発揮される。

(19) 成果名：時系列メディアのデザイン転写技術の開発

機関名： 関西学院大学（JST・CrestMuse プロジェクト、研究代表機関）

音楽における抑揚、表情といった感性的要素の理論検証

音楽のデザインとは、抑揚、表情のつけ方などの心地よい音楽を特徴付けていながらも言語による可視化が極めて難しい要素を指す。そして、音楽のデザイン転写とは、こうした抑揚、表情のつけ方を、「事例(となる歌)」から収集し、他の音楽に埋め込む事を指す。本プロジェクト前半では、音楽のデザイン転写に関する基礎的な理論検証、数種のアプローチによるモデルの詳細設計を行った。また、fNIRS を用いた脳機能計測により、聞き方のモードによって脳の賦活状況が変化することを示唆するデータを取得した。

ボーカロイドによる自然な歌唱を実現

2008 年度より、一般ユーザにとってもなじみ深い「歌唱・歌声」を重点研究テーマとして位置づけ、各グループの力を結集する形でのシステム開発に着手した。ここでは「伴奏を含む音響データを対象とした似た歌声楽曲検索システム」や、「SingBySpeaking: 話声を歌声に変換するシステム」、「VocaListener や v.morish 等の歌唱デザインインタフェース」の開発を進めた。これらのうち VocaListener や v.morish を市販の音声合成歌唱ソフト(ボーカロイドとも呼ばれるものでクリプトン・フューチャー・メディア社の「初音ミク」などが有名)に適用したコンテンツは、これまでのボーカロイドでは実現が困難だった自然な抑揚、表情付けのある歌唱を自動で実現できたことから、大きな反響を呼んだ。適用サンプル動画は、ニコニコ動画等の動画共有サイトの人気コンテンツにもなっている。

コンテンツ制作現場やコミュニティ視点での成果活用

転写技術による自動処理の部分だけが前面に出すぎ、参照事例を差し替えるしかデザイン内容の変更の手立てがないとすると、創作における自由度を阻害してしまう可能性もある。そこで、参照事例を絵の具のように混ぜ合わせたり、特徴の部分をこね回したりといった操作性を directability とよび、その研究開発を進めている。これには、コンテンツ制作の効率化に加え、新しい音楽の愉しみの創出、メタ認知形成(音楽を深く識る)に資する利点が存在する。Directability を考慮したインターフェースの開発はプロダクションやエンタテインメント業界から極めて好意的に受け止められており、現時点においては、ほぼ計画どおりに研究が進捗しているものと考えている。

動画等の動画共有サイトが、ブロードバンドの普及を背景に国内で爆発的に普及し、投稿されたコンテンツに第三者が手を加えていくことにより発展していく参照型コンテンツも多く見られるようになっている。こうした点を踏まえ、研究下半期を向かえるにあたり、人・コミュニティを組み込んだ視点によって研究活動全体をとらえることにした。

さらにデザイン転写モデルの音楽以外の時系列メディアへの適用も今後の研究課題である。

(20) 成果名： 常温でセラミック膜を作る省エネプロセス技術

機関名： 産業技術総合研究所

エアロゾルデポジション法のプロセス基盤技術の開発

エアロゾルデポジション法 (AD 法) は、固体状態のセラミックス微細粉末を常温で基板に吹き付けることにより、加熱することなく機械的な衝撃力だけで緻密かつ高透明、高強度、高密着力のセラミック被膜を形成する製膜法である。AD 法は、従来の製膜法に比べ、製膜速度が飛躍的に速く、プロセス温度が低い。そのため、機能部品の製造プロセスにおいて、高機能化とエネルギー消費の低減、工程数の削減、コストダウンをもたらすと期待されている。

まず、AD 法のプロセス基盤技術を開発した。具体的には、AD 法のメカニズムの解明とプロセスの高度化を行った。AD 法のメカニズムの解明では、AD 膜の構造解析、微粒子衝突のシミュレーション、原料粒子の強度評価などを実施した。プロセスの高度化では、基材の熱ダメージを抑えた熱処理プロセスを開発した。AD 法に対して、レーザーや高密度プラズマ、イオンビーム等をエネルギー源として利用することで、プロセス温度の低温化や製品機能の向上を目指した。現在のところ、電気炉加熱した場合よりも優れた強誘電性を有する PZT (ジルコン酸チタン酸鉛 ($\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$)) 厚膜をステンレス板状に形成することに成功している。

AD 法によるデバイス開発の可能性

インクジェットプリンタに対して、高速印字と高画質印字の両立など様々なニーズが高まっている。これに応えるためには、多ノズル化やライン化が容易なヘッドが必要であり、AD 法の成膜技術の利用が期待されている。また、携帯電話やパソコンなどの電子機器の小型化に伴い、種々の受動素子を単一モジュール内に集積化した回路基板・パッケージが望まれている。しかしながら既存技術のセラミックス低温同時焼成法では、材料特性を劣化させてしまうという限界があった。そこで、AD 法による低温・多層成膜技術によって、高周波モジュール用基板および高誘電率膜の開発を目指している。さらに、光素子を半導体素子なみに小さくするための画期的な技術として、AD 法による電気・光素子を開発し、光とエレクトロニクスとの 1 チップ上への集積を可能とするナノフォトニックデバイスの実現を目指している。

AD 法の今後の可能性

AD 法では、様々な基板材料に利用可能である。そのため、場合によっては、廃材などを原料とした省資源・省エネプロセスの展開も期待できる。AD 法は、ナノ組織化や熱非平衡なセラミックス組織を容易に形成できる利点がある。この利点を活かして、今後は異種材料の積層、新機能材料への適用が考えられる。プロセス効率の向上、コスト低減の進捗によって、太陽電池、Li 電池、燃料電池などのエネルギー関連部材や、歯科材料、インプラント材料などの医療関連部材、機械構造部材などでの機能コーティングへの展開が期待できる。

(21) 成果名： 世界最強の超軽量マグネシウム合金の開発

機関名： 熊本大学

マグネシウム合金とは

マグネシウム合金は実用金属の中では最も軽い金属材料である。その比重は軽い金属の代名詞であるアルミニウム合金の 2/3、さらに鉄と比較すると 1/4 という軽さである。また強度/比重で表される比強度は最大の金属である。軽いという特徴を活かしてコンピュータ部品や自動車部品に使用されてきている。比重が小さいという特徴以外にもマグネシウム合金は多くの特徴を持っている。例えば、振動を吸収する減衰能が優れており、F1 マシンのホイールに使用されている。また、耐くぼみ性に優れており、携帯電話、デジタルカメラやノートパソコンなど持ち運ぶ小型情報機器のボディーには最適な材料である。さらに、マグネシウム合金は再生利用するためのエネルギーが、初期材料製造時の 5%程度で済むという環境に優しい材料でもある。

従来のマグネシウム合金を大きく上回る性能

一方、マグネシウム合金の欠点は、アルミニウム合金と比較して耐食性、耐力及び耐熱性に劣ることなどが挙げられる。今回熊本大学で開発されたマグネシウム合金は「熊大マグネシウム合金」と呼ばれており、新たな原子配列構造を持ち、これまでのマグネシウム合金の欠点を大幅に改良したものとなっている。例えば、耐力は既存のマグネシウム合金の 2～3 倍、耐熱性は 50～100℃の向上が図られている。

熊本大学では 28 種類の合金元素の組合せを全て見出すとともに、新しい概念の強化メカニズムを明らかにすることによって、合金成分、組織・構造に関する基本特許を押さえている。

幅広い応用に向け期待される研究成果

この新規開発の熊大マグネシウム合金によって以下のような成果が期待できる。

【科学技術面】

- ・日本発の材料の世界標準化を図ることができる。
- ・日本の材料科学の国際競争力を強化することができる。
- ・航空機、ロケット、自動車、新幹線などの科学技術の飛躍的な向上を図ることができる。

【市場面】

- ・素形材産業、自動車産業、航空機産業などにおいて幅広く使用されるようになり、日本の産業の国際競争力の強化に繋げることができる。

【社会面】

- ・CO2 排出削減、省エネルギーなどを通して、環境軽負荷社会の実現に繋げることができる。
- ・新産業創出と産業の活性化を図ることができる。
- ・産学官連携、さらには韓国、中国、台湾との国際ネットワークを形成して、世界のリーダーシップをとることができる。

(22) 成果名： 未来型蓄電デバイス材料の創成

機関名： 関西大学

経済成長の要となるエネルギー革命

人類は過去に大きな革命を3度経験し、経済活動を大幅に飛躍させてきた。過去の3度は農業革命(人類の定着、食料の生産計画を可能にした)、産業革命(蒸気機関の発明で人力に代わる動力源を得たことにより、社会は農業社会から鉱工業社会へと移行)、そして現在も進行しているIT革命(情報通信技術の進展により情報と知識が付加価値の源泉となり、社会経済構造を大きく変化させようとしている)である。

これら3度の革命は、各々第一次産業、第二次産業、第三次産業の発展を促したが、エネルギー革命は新たな産業の創出とともに、IT革命と同じく全ての産業活動に大きく関係し、多くの産業分野での構造変化を促すものとなる。このエネルギー革命の主役が蓄電デバイス(バッテリー)である。太陽電池、燃料電池、二次電池などの蓄電デバイスは大きな技術進展を見せており、今後各種製品のコンセプトを変える可能性を秘めている。このため、米国を始めとする主要国においてエネルギーを中核としたグリーン・ニューディール政策が取られようとしている。

新原理に基づく未来型蓄電デバイスの開発

関西大学では電気エネルギーを蓄積する材料に関して、他からは提案されていない新原理により、画期的な性能を有する蓄電デバイスの作動を実現させている。具体的にはナノ材料やイオン液体などの先進材料を独自の方法論で利用することで成功している。このリチウムイオン電池の電解液にイオン液体のみを用いた蓄電デバイスは世界中の注目を集めており、まさしく新時代の蓄電デバイスといえる。

ターゲットはリチウムイオン電池とスーパーキャパシタ

環境保護、省エネの観点から、自動車はエコカーへ転換しつつある。現在の代表的なエコカーであるハイブリッドカー、今後期待される電気自動車においてキーとなるのが蓄電デバイスである。この蓄電デバイスの本命と目されているのがリチウムイオン電池であり、関西大学で開発したリチウムイオン電池は従来にない突出した性能を得ている。また、スーパーキャパシタは瞬間的に大きな電気を放電できることからリチウムイオン電池の補助蓄電デバイスとして期待されており、関西大学では多層ナノカーボンチューブを使用した電極を駆使することにより、世界最速の作動速度を実現させている。

社会・経済を革新させる研究成果

蓄電デバイスは今後の自動車産業を左右するほどのインパクトを持っている他、発電変動が大きい太陽電池、風力発電などの自然エネルギーを蓄えて、私たちが電気を必要とする時に放出することができる。この他、現在AC電源を利用した各種機器類においても蓄電デバイスによる駆動が可能になれば、製品形態、利用形態が変わり、新たな経済・産業の発展を促進することが可能となる。

(23) 成果名：宇宙生活の安全性と快適性を保障する生活関連の技術開発

機関名： 日本女子大学

宇宙船内服開発の需要

現在、宇宙飛行士の生活を安全かつ快適にする視点は、米国やロシアにおいても食以外の分野では見当たらないようである。今や、一般人も宇宙旅行をする時代となり、宇宙における生活の安全性と快適性を保障する生活関連の技術開発は、今後の有人宇宙開発を促進するに際し、日本の宇宙開発の新しい有用な領域になるであろう。日本女子大学の多屋淑子教授は、日本のきめ細やかな技術は他国に比べて優位であると考え、宇宙飛行士の心身の健康を維持し安全な日常生活を支援するために、食分野を除く異分野・異業種からなるメンバーを産学連携にて組織し、宇宙航空研究開発機構と共同で、宇宙での生活支援に関する研究活動を行ってきた。その1つの成果である日常生活用船内服(カジュアルスペーススーツ)が、2008年3月と6月に、国際宇宙ステーション建設のためのSTS-123 および ST-124 の2つのミッションにて軌道上で着用され、今後の長期滞在用のさらなる船内服開発に対して有用な評価を得ることができた。

宇宙船内服の概要

開発した衣服は、半袖と長袖のポロシャツ、長ズボン、半ズボン、スポーツウェア上下、下着、丈の長い靴下、短い靴下の9種類である。現在、宇宙船内では、シャワーが無く洗濯もできないため、身体や衣服の清潔さを保持する素材の工夫、微小重力特有の姿勢や体形変化に無理なく適合する衣服、衣服が身体へ負荷を与えず、動きやすく美しいシルエットを示す縫い目の無い縫製方法の工夫などを行った。これまで船内服の素材は、安全性の観点から綿100%が多く用いられてきたが、今回開発した宇宙船内服は、安全性実証試験により安全性が保証されたポリエステル繊維も加え、吸湿・吸水・透湿性・速乾性・消臭性・防汚性・肌触り等の改善や衣服の軽量化を行った。宇宙では、物がふわふわと浮いてしまう環境であるため、それらを仮置きするために、マジックテープがズボンに取り付けられている。従来のマジックテープの欠点を解決し、耐熱性・静電性・ソフト化を行い、塵が出ない等の環境へ配慮したマジックテープも開発した。

宇宙船内服の技術を地上の衣服へ応用

今回開発した船内服の技術は、今後の長期滞在用の宇宙船内用日常服としての貢献が期待できる。さらに、これらの技術は、宇宙に限らず、地上の様々な生活の安全を保障するための素材や衣服としての応用が広く、特に、介護福祉分野、災害時用の衣料、極限環境の作業服などに有効である。例えば、現在、重度の寝たきりの身体障害者用衣服への展開を行っている。例えば、宇宙仕様の熱水分移動特性・消臭・抗菌性・保温性・肌触りの良い素材は、身体と衣服の清潔さの向上に役立ち、衣服に縫い目の無い縫製技術は身体の圧迫や皮膚への刺激を軽減できるため褥瘡防止対策にも貢献できるであろう。

(24) 成果名： 生物磁石合成機構の解明と医療計測への応用

機関名： 東京農工大学

細菌がナノサイズの磁石を作る！

磁性細菌 *Magnetospirillum magneticum* AMB-1 株は、体内にナノサイズ(50~100 nm)の磁性粒子を生成する。この磁性粒子は、鉄(Fe)と酸素(O)から構成されるマグネタイト(Fe_3O_4)であり、強磁性体であることから磁石で容易に回収可能な一方で、薄い脂質二分子膜で覆われていることから、水中での分散性にすぐれている。また、表面に脂質膜を持つので生体分子の固定化による高機能化が可能である。この磁性粒子合成機構に関わるタンパク質を模倣することで、形の制御された磁性ナノ材料を合成することが出来るなど、工学的な点からも注目を集めている。

磁性細菌の全ゲノム、プロテオミクスを解析し、生物磁石形成機構を解明

磁性細菌の全ゲノム解析、プロテオミクス解析、トランスクリプトーム解析により、磁性粒子合成の反応場となる膜小胞体の形成に関与するタンパク質、粒子合成に必須な鉄イオン輸送タンパク質、鉄イオンを蓄積し、結晶形成に関与するタンパク質を発見するなど、細菌内での磁性粒子生成機構の概要を明らかにした。

また *Magnetospirillum magneticum* AMB-1 株の他にも、異なった系統の磁性細菌 *Desulfovibrio magneticus* RS-1 株についても全ゲノム解析を達成したほか、環境サンプルからの磁性細菌の収集と新たな磁性粒子合成遺伝子の探索と解析を行うことで、磁性粒子生成メカニズムの解明とその進化についての解析を進めている。

細菌が作った磁石を使った検査・診断機器が実用化

この磁性細菌が生合成する磁性粒子を用いた検査機器が開発されている。磁性細菌由来の磁性ナノ粒子をハンドリングする磁気分離装置を搭載したポータブル型自動核酸抽出器、全自動遺伝子判別装置が理化学機器メーカーより市販化され、研究・医療機関で利用されている。全自動遺伝子判別装置は、遺伝子判定を1台の装置で全自動検査できる世界初の装置として2006年度より販売開始された。

また、磁性細菌の遺伝子組換えによって、人工合成では真似のできない高機能磁性粒子を合成することが出来、再生医療、創薬分野への応用が期待されている。さらに、細菌による生成物だけではなく、その機構自体を工学的に利用し、磁性細菌の結晶制御因子タンパク質を用いた化学合成法による磁性粒子の調製を行うなど、新規なバイオナノ材料の創出にも取り組んでいる。生体親和性の高い素材であり、バイオ関連分野はもちろん、その他の工業分野においても高機能なナノ材料として、今後の活用の拡大が期待される。

(25) 成果名：世界最高水準のロケットの開発

機関名：宇宙航空研究開発機構

H-IIA、M-V、H-IIB ロケットの開発

世界最高水準の性能、信頼性を有するロケットの開発に成功した。

H-IIA ロケットは、人工衛星打ち上げの多様な輸送需要に低コストで対応するために開発され、現在では国内の主力大型ロケットとして用いられている。設計の簡素化や製造作業・打ち上げ作業の効率化によって、H-II ロケットから打ち上げコストを2分の1以下に抑えるなど、世界的にも有数のコストパフォーマンスを誇っている。重量の異なる衛星に合せて、2形態の標準型ロケットから選択できるなど、運用面でも柔軟に対応している。また、これまで15機中14機の打上げ成功(7号機から9機連続成功)により、世界最高水準の打上げ成功実績を記録している。2007年より衛星打ち上げ輸送サービスの事業化を実現し、宇宙輸送産業の拡大にも貢献している。

M-V ロケットは、M-3S II ロケットを大型化したロケットで、多様な科学探査ミッションに対応したロケットである。M-V ロケットは、7回の打ち上げのうち、4つの天文観測衛星と2つの惑星探査機を予定通りの軌道に乗せ、惑星に探査の足を延ばす太陽系科学のミッションに新しい時代を開いた。全段固体ロケットで地球周回衛星と惑星探査機の両方を実現した唯一のロケットとして、高い評価を受けている。

国際宇宙ステーションへの物資補給や静止遷移軌道への衛星(約8トン)の打上げを可能とする大型ロケットである、H-IIB ロケットの打上げによって、宇宙環境利用における日本の国際的貢献の拡大と衛星打上げにおける国際競争力の強化を目指している。

宇宙利用の具体的な取り組み

日本は宇宙輸送産業の育成と宇宙利用活動(衛星による気象観測、地球環境観測、国土管理、災害観測、通信、測位、宇宙科学研究、月探査、有人宇宙活動など)の拡大を目指している。例えば、人工衛星を地球観測分野に活用することで、温室効果ガスの全球の濃度分布を観測し、地球温暖化防止に向けた取り組みに貢献したり、国内外の災害時の被災地状況を把握したり、地図作成や森林管理、農地把握等の国土管理に役立てている。情報通信分野での活用においては、超高速インターネット社会の実現に向けて、高速大容量通信を可能とする衛星を開発し、国内や東南アジア等で通信実験を行っている。現在では、ロケットや人工衛星技術の進展によって、地球の大気に妨げられずに宇宙を観測することができる。さらには、月や惑星などの太陽系天体に探査機を送り込むこともできる。こうした宇宙からの天文観測や惑星探査が可能となったことで、宇宙の起源・構造・進化について、惑星の誕生のプロセスについて解明する宇宙科学研究も進展している。

また、国際的な有人宇宙環境利用プログラムにも取り組んでいる。来るべき宇宙時代に備えて、宇宙環境が心身に与える影響の研究(宇宙医学)、宇宙－地球間の往来や宇宙での快適な生活(有人宇宙技術)、宇宙生活に必要なロボット、通信、エネルギーの研究開発(宇宙利用技術)を進めている。

(26) 成果名： 個体内レドックス制御因子(酸素濃度・活性酸素・pH など)の同時分離画像解析
を可能とする多重磁気共鳴生体レドックス画像化 システム

機関名： 九州大学

酸化ストレス疾患診断・治療のための生体レドックス制御

近年、生命現象の維持に生体レドックス制御が深く関わり、この生体レドックス制御の破綻が様々な酸化ストレス疾患の発症・病態悪化をもたらすことが明らかになりつつある。従って、酸化ストレス疾患の予防・治療、医薬品開発には、このレドックス制御に関与するレドックス関連酵素、活性酸素、フリーラジカル、ならびに組織内酸素分圧、pHなどを同時に同一個体で低侵襲に画像解析することはきわめて重要である。

高分解能・高磁場 OMRI の開発に成功

生体イメージング技術として低侵襲性、空間分解能、時間分解能の観点からは磁気共鳴法(MRI、ESRI)が高い可能性を有している。なかでも、フリーラジカルを MRI 技術で可視化するオーバーハウザー効果 MRI(OMRI)が注目されている。既に同時分離分子イメージングパルスシーケンスを開発し、生体内酸化還元反応や血液脳関門内外のレドックス動態の分離画像化は可能とした。しかし、まだ多数の情報を同一個体で可視化する多重共鳴の実用化には至っていない。

高磁場 OMRI の開発研究を行う過程で「等速移動 MRI」原理を発見したことで、空間分解能が0.1mm以下の高分解能・高磁場 OMRI の開発に成功し複数の核種で標識した造影剤プローブの新合成法と、活性酸素や抗酸化剤に対し特異的に反応するプローブ剤開発にも成功した。今後、2種以上のプローブ剤(酸素分圧、pH、レドックス変動に対する特異的プローブ剤など)を同時に可視化することで、酸化ストレス疾患でのレドックス代謝異常の分子イメージングが可能となる。

酸化ストレス疾患の機序解明への貢献が期待される

本手法の研究開発が進めば、一匹の動物でpH、酸素濃度、活性酸素、レドックス変動など異なった切り口から生体レドックス制御・破綻の同時分離画像解析でき、生体レドックスの新たな分子イメージングが可能となり、酸化ストレス疾患の発症機構解明や薬効評価の視覚化が可能となる。それと同時に、本手法は原理的にヒトなどへの応用のために大型化が可能で、新たな診断法に繋がるだけでなく、治験と動物実験の近似性を実証でき、その意義は非常に大きい。

本手法を用いた装置が実用化されれば、一般の臨床・基礎医学研究者が容易に酸化ストレス病態等におけるレドックス動態を飛躍的な高解像度で画像解析することが可能になり、酸化ストレス疾患の発症・病状悪化機構の解明と新たな治療法の確立、抗酸化性医薬品の開発に繋がると期待される。また、酸化ストレスに対する防御作用を挙げている機能性食品も多いが、その有用性を実証する上でも、有用な評価手段となることが期待される。

(27) 成果名： 世界初の新規抗血栓薬の開発

機関名： 三重大学

従来の DIC の治療

DIC(汎発性血管内血液凝固症)とは血液凝固反応の亢進により、全身の微小血管内に血栓が形成される症候群である。血栓による虚血で全身の臓器が障害されるとともに、血栓形成の過程で血小板や凝固因子が大量に消費され、著明な出血傾向が出現する。感染症、悪性腫瘍、産婦人科疾患などに合併しやすく、一旦発症すると非常に予後が悪いことが知られている。現在のところ DIC の治療では、減少した血小板や凝固因子の補充や抗凝固療法が行われる。しかし、これらの抗凝固療法では、出血傾向を増大させる危険性がある。

トロンボモデュリン遺伝子の構造解明

血管が破綻すると、トロンビンという酵素が血栓を作り、血管破綻部位からの出血を止める。しかし、トロンビンが末梢に流れてゆくところで血栓を作り、血流を遮断しまう。血管内でこの危険な血栓の形成を阻止しているのが、抗血栓作用を有する血管内皮細胞である。なかでもその中心的役割を果たしている分子がトロンボモデュリン(TM)という膜蛋白質である。TM は、トロンビンと特異的に結合し、トロンビンを凝固促進酵素から凝固阻害酵素に変える性質がある。すなわち、TMはトロンビンの基質特異性を変えて、血中のプロテイン C という凝固阻害プロテアーゼを活性化し、血液凝固反応を阻止する。こうした TM の機能を明らかにし、ヒトの TM 遺伝子を世界で初めて単離して構造を解明し、さらに TM を DIC の治療薬として開発した一連の研究は高く評価されている。

TM 遺伝子組換え体の DIC 治療への応用

TM は本来血管内皮細胞上に存在する膜蛋白質で難溶性であり、医薬品としては可溶性であることが好ましいため、治療薬の作製には、遺伝子組換え技術を応用して、TM の活性部位を含む細胞外部分のみを可溶性型分子とした。この遺伝子組換え TM は、生理的な細胞膜 TM と同じようにトロンビンと特異的に結合して、プロテイン C の活性化を促進し、血液凝固反応を阻止してトロンビンの生成を抑制した。また、動物実験でも DIC を強く阻止することが認められた。

旭化成ファーマ(株)の協力のもと、2006 年、DIC を対象とした遺伝子組換え TM(トロンボモデュリンアルファ)の臨床試験が実施された。その成績をもとに、トロンボモデュリンアルファの製造販売承認申請を行った結果、2008 年に承認を取得した。現在、トロンボモデュリンアルファは、世界初の遺伝子組換え製剤 TM(販売名リコモジュリン)として、DIC の治療に使用され、多くの患者の命を救っている。

遺伝子組換え TM の DIC 治療への応用が実証されたことにより、今後、様々な疾患の治療に遺伝子組換え生体分子の応用が期待される。

(28) 成果名： ヒトがんワクチン療法の開発

機関名： 東京慈恵会医科大学

樹状細胞とがん細胞を融合させて強力なワクチンを開発

免疫メカニズムの中で、T細胞に対して抗原を提示する抗原提示細胞の一つである樹状細胞とがん細胞を融合させることに成功し、がん細胞に有効な新しいヒト抗原提示細胞を作成した。また、がん細胞を熱処理することで熱ショックタンパクや腫瘍抗原をよりたくさん発現するようになり、樹状細胞に対してはトール様受容体に刺激を与えることによって、T細胞を刺激する上で重要な共刺激分子(CD80 や CD86)や IL-12 がより発現されるようになった。このように、熱処理したがん細胞と成熟樹状細胞、それぞれが免疫反応をより強くするような処理を施したものの同士を融合することで、融合細胞ワクチンの改良を行い、この改良型融合細胞がんワクチンは、がん細胞に対する免疫機能をより強力にすることができた。

WT1 ペプチド免疫療法と化学療法の併用臨床試験を開始

小児腎がんであるウィルムス腫瘍の原因遺伝子として「WT1」という遺伝子が発見され、この WT1 遺伝子は、正常細胞には存在しないが、ウィルムス腫瘍だけではなく様々な種類のがん細胞や白血病細胞に多く発現していることが確認された。このことから、WT1 タンパクの一部、9 アミノ残基から成る WT1 ペプチドが、がん抗原としての機能を持つことが突き止められ、がんワクチンとしての効果が期待されている。

一方、膵臓がんは、近年急速に患者が増加しているがんで、現在日本でのがん死因の 6.8% を占めている。また難治性のがんであり、多くの症例は進行がんの状態で見られるか、早期に見られ外科的処置にて完全に切除した場合でも、早期に再発することが多い。現在、切除が難しい膵臓がんに対する標準的かつ最良と考えられる治療法は、抗がん剤塩酸ゲムシタビンによる化学的療法である。

WT1 ペプチドと塩酸ゲムシタビンを併用する進行膵臓がん療法の第 I 相臨床試験を大阪大学と共同で開始し、一部の症例においては非常に良い治療成績を得ている。

樹状細胞ワクチンの創薬化へ向けて

樹状細胞とがん細胞を融合させた改良型融合細胞ワクチンが、がんに対して強力な殺傷能力のある細胞傷害性T細胞を誘導することが明らかとなったが、今後、進行膵臓がんに対する第 I 相臨床試験を行い、この改良型融合細胞ワクチンの安全性と有効性の評価を行う予定である。

開発した技術を基盤として、将来的にはテラーメイド型の融合細胞ワクチンを開発し、多くのがん患者に対して免疫療法が有効ながん治療の手段となることが期待される。

(29) 成果名：アルツハイマー病の原因物質の分子メカニズム解明

機関名：理化学研究所

アルツハイマー病の原因物質を分解する酵素を発見

高齢化社会を迎え、認知症への対策は社会的に緊急な課題となっている。現在、国内の認知症老人数は100万人以上と見積もられ、その半数以上がアルツハイマー病患者である。今後、その数はさらに増加すると予測され、早期の治療薬の開発が急務となっている。

アルツハイマー病の原因は、脳内の β -アミロイドと呼ばれるタンパク質の異常蓄積によるといわれている。したがって、 β -アミロイドの分解能力を増強し、蓄積を抑制できれば、アルツハイマー病を予防・治療することができるが、これまで β -アミロイドの分解メカニズムは明らかでなかった。そこで、 β -アミロイドの分解酵素を同定する実験を行い、その分解酵素がネプリライシンであり、このネプリライシンの酵素活性を上昇させることで、 β -アミロイドの蓄積を抑制できることを明らかにした。さらに、ネプリライシンの活性を上昇させるためには、神経ペプチドの一種であるソマトスタチンが有力な物質であることも明らかにした。ソマトスタチンは、加齢とともに減少し、アルツハイマー患者の脳内では顕著に低下していることがわかっている。つまり、加齢によるソマトスタチンの減少がネプリライシンの活性を低下させ、 β -アミロイドを蓄積させるのである。ソマトスタチンは、副作用なく β -アミロイドの蓄積を低下させ、記憶力や記銘力(経験内容を覚え、定着させる能力)の改善に役立つため、治療薬として極めて有望である。

また、MRIおよび特異的トレーサーを用いてアミロイド斑を画像化することにも成功し、アルツハイマー病の早期発見と薬物療法により発症予防法確立のための展望を開いた。

アルツハイマー病の根本治療に大きく貢献

脳内のネプリライシンの発現低下が、 β -アミロイドを蓄積させ、アルツハイマー病を引き起こす原因の一つになることが明らかとなった。これを踏まえ、今後はアルツハイマー病の予防・根本治療を目的として創薬研究を進める。具体的には、ネプリライシンの発現や活性を低下させる危険因子を探索すると共に、ネプリライシンの発現抑制に関わる危険遺伝子を同定し、アルツハイマー病の発症リスクを予測する。さらに、遺伝子治療あるいは遺伝子転写制御によって、ネプリライシンの発現を選択的に上昇させ、弧発性アルツハイマー病だけでなく、家族性アルツハイマー病の治療も行っていく。

(30) 成果名： 肝臓再生医療

機関名： 山口大学

肝臓の再生医療の登場

近年、C 型肝炎の蔓延と共に肝不全(肝硬変、肝癌、劇症肝炎)の患者が増加している。現在肝不全の患者に対して、日本においては生体肝移植が行われているが、手術侵襲の問題(ドナー自体への生体的負担)や提供された臓器に対する拒絶反応の問題など、まだまだ障害が多い。

特に、今後高齢者を対象とした医療を行うには、移植に代わる、より患者への侵襲の少ない次世代の再生医療技術の開発が急務とされている。

山口大学大学院医学系研究科・消化器病態内科学および再生・細胞療法センターでは、骨髄細胞を用いて肝硬変の原因である肝線維を溶解させ、肝再生を起こす新たな再生医療を開発した。

同手法の長所は以下のような点にある。

- ・患者本人に由来する幹細胞を用いる技術であり、拒絶反応の問題をクリアしている
- ・投与した幹細胞は肝臓内の障害部位に特異的に定着するため、ターゲット部位を特定する必要がない
- ・肝機能の向上と線維化に著しい改善効果が見られる

臨床レベルでの有効性の確認

山口大学では、肝硬変症の患者を対象に、全身麻酔下で 400ml の自己骨髄液を回収し、末梢血管よりその骨髄細胞を投与する方法〔自己骨髄細胞投与療法(ABMI 療法)〕を 2003 年 10 月から開始した臨床研究の中で開発し、有効性を明らかにしてきた。

過去に施行した症例においては、肝機能の改善が得られ、合併症および重篤な副作用は認められなかった。さらに、多施設で研究を開始し、症例数の蓄積を図ってきた。2007 年度までに、山口大学で実施した臨床研究症例数は 19 例であり、安全に治療が行われている。また、開発された肝臓再生療法の臨床研究は、2007 年度までに山形大学で 3 例、韓国の Yonsei 大学で 9 例、インドの日印再生医療センター関連施設で 30 例、ブラジルで 10 例が行われている。このように、同臨床研究は、国内のみならず世界的な研究となり、日本が世界へ発信できる治療法としても徐々に認識されつつある。

今後期待される研究成果

現在の AMBI 療法では、全身麻酔下で 400ml の自己骨髄液を回収しているが、より患者の負担の少ない局所麻酔下で少量の骨髄液を回収する方法も研究されており、開発に成功すれば同治療法の普及を加速させるものと考えられる。

また、骨髄幹細胞を分離・培養する技術及び安全性評価技術が確立されれば、AMBI 療法が「生体肝移植」に代わる世界初の肝硬変治療法となると考えられる。

(31) 成果名：アルツハイマー病治療薬としての β -セクレターゼ阻害剤の創製

機関名：京都薬科大学

アルツハイマー病の治療薬を開発

アルツハイマー病は、脳に β -アミロイドが蓄積することが原因とされている。 β -アミロイドは酵素「 β -セクレターゼ」などによって産生され、凝集することにより脳にアルツハイマー病の特徴である老人斑を形成する。よって β -セクレターゼの阻害剤がアルツハイマー病の治療薬として有望であると考えられている。研究グループは生体分子を標的とした分子認識を基盤とした設計手法により β -セクレターゼを阻害するペプチド型化合物「KMI-429」を設計した。KMI-429 は強力な阻害活性を有し、培養細胞に対して β -セクレターゼを阻害した。さらにマウスの脳内の海馬という部位に直接 KMI-429 を投与することにより β -アミロイドの産生を抑制することを確認した。これは低分子化合物として世界で初めて生体内で効果が確認できた β -セクレターゼ阻害剤であり、世界に先駆けてアルツハイマー病治療薬としての β -セクレターゼ阻害剤の可能性を示したものである。しかし、KMI-429 はペプチド型化合物であり、かつ分子量が大きいため、医薬品として実用的ではないと考えられた。そこで KMI-429 の分子構造を参考に、コンピューター上で β -セクレターゼに結合した KMI-429 の立体構造を予想した。次にその立体構造を固定する分子設計手法により、低分子でかつ高阻害活性を有する KMI-1027 などの β -セクレターゼ阻害剤の開発に成功した。これらの低分子型阻害剤の生体内での評価はまだ行っていないが、適度な分子サイズ、疎水性親水性バランスを有しており、これらの化合物からアルツハイマー病治療薬が開発されることを期待したい。

β -セクレターゼ阻害剤の可能性

我が国は急速な高齢化社会を迎え、アルツハイマー病患者の増加は社会問題になっている。その治療薬としてはアリセプトなど対症療法的な薬剤しか存在しないが、研究グループが見い出した β -セクレターゼ阻害剤の中から、アルツハイマー病の根本的治療薬が開発されることが期待できる。またアルツハイマー病の発症機構には不明点が多いが、 β -セクレターゼ阻害剤を用いて発症メカニズム解明の研究や診断法の開発も期待できる。

阻害剤の研究技術はあらゆる病気に応用可能

酵素など生体分子を標的とした研究グループの阻害剤開発研究から得られた知見・技術には普遍性があり、癌、AIDS、マラリア、成人 T 細胞白血病、SARS などの難病の治療薬開発に応用可能である。実際、研究グループではこれらの疾病に対する治療薬の候補化合物もしくは有望な化合物を創製しており、多くの病気の治療のために有効な手法であると期待されている。

(32) 成果名： 災害時に役立つヘリコプター衛星通信システム

機関名： 情報通信研究機構

どこでもリアルタイムに災害の映像が見れたら

災害発生時に広範な被害状況を迅速に把握するためには、ヘリコプターによる上空からの映像を活用した情報収集が有効である。現在、実用化されているシステムは、上空から撮影した映像を地上の無線局で中継し、映像を伝送する仕組みである。このため、リアルタイムで映像を見るには、ヘリコプターからの無線を受信可能な場所に絶えず無線局が設置されていなければならない。現在、無線局は全国を網羅する形に設置できていないため、無線局が設置されていない地域においては、中継車や可搬型無線局を配備し対処している。しかし大規模災害などで陸路が寸断された場合、中継車や可搬型無線局が適地に配備できず、リアルタイムで映像を見ることができない可能性がある。

ヘリコプター衛星通信システムの開発

2004 年、従来の中継システムの問題点を解決するため、ヘリコプターから直接衛星に向けて送信し、これを地上で受信するヘリコプター衛星通信システムを開発した。衛星との送受信アンテナは、ヘリコプターのブレード(羽)の下に位置するため、電波がブレードに阻まれ、うまく通信できなかった。この点を克服するために、ブレードの隙間を狙って送信できるようにしたことや、受信時に衛星から 4 回同じ情報を送り何個かがアンテナに到達できるようにした。

このヘリコプター衛星通信システムの開発により、災害時に無線局が配備できない場所であっても、上空からリアルタイムで被災地情報を収集できる。

実証実験を行い、以下の 4 点の機能を確認した。

1. ヘリコプターと本部との間のデータ通信機能。
2. ヘリコプターの姿勢動揺があっても人工衛星方向を高精度で捕捉指向する機能。
3. MPEG4 規格での 384kbps 準動画および 1.5Mbps 動画転送機能。
4. 被撮影地(被災地)位置を 3 次元地図を用いて高精度に特定する機能。

ヘリコプター衛星通信システムの応用

夜間など視界が悪い状況においても、ヘリコプターを活用した被災地情報収集活動が展開できるように、ヘリコプターの夜間飛行やヘリコプターからの夜間撮影の実施に向けて取り組んでいる。また高画質の伝送が技術的に可能であるため、災害時通信以外の利用、例えば、環境モニタリングやメディア伝送にも活用が期待されている。

(33) 成果名：巨大地震の研究

機関名：産業技術総合研究所

過去の巨大地震研究から長期的視野での予測が可能に

「大地震はいつ、どこで、どれくらいの規模で起きるか？」地震多発国の日本にとっては切迫した問題であり、地震予知のための観測網が整備されて来たが、その直前の予測は依然として難しい。その一方、長期的視野(向こう 30 年以内等)での発生確率の予測は、ある程度可能になって来た。

津波堆積物や海岸地形の研究により、北海道や東北地方等の太平洋沿岸は、有史以前から数百年に一度の頻度で、スマトラ島沖大地震による大津波に匹敵する巨大な津波に襲われてきたことが明らかになった。津波堆積物の分布範囲や海底の地質構造を手掛かりとして、巨大な津波を発生させた断層をモデル化し津波の数値シミュレーションを行って、過去に起きた巨大津波の波高分布や浸水範囲を推定した。過去に繰り返してきた地震の発生場所と時期から、その場所での発生間隔が分かり、将来の発生時期をおおよそ予測することができる。

防災に役立つ地震予測地図やデータベースを整備

過去の巨大津波の波高や浸水範囲に関する研究成果は、来るべき巨大津波による被害の想定に利用されるとともに、被害を軽減するための防潮堤の高さの設定や沿岸自治体の防災対策の立案などに活用されている。

また内陸における巨大地震を引き起こす可能性のある大規模な活断層についても、国が自治体と協力して調査・研究を進め、「全国を概観した地震動予測地図」が公表されている。さらに、活断層に関する各種の情報を収集・整理し、地図情報や地理情報を電子化し統合した電子国土 Web システムやグーグルマップ上で検索可能な「活断層データベース」を構築・公開した。国民の防災意識の向上や地震防災対策への活用が期待される。

データ蓄積とモデル化による短期予測の実現を目指す

今後は、主に地質、地形および考古学的な手法によるこれまでの巨大地震の研究に、地下水や地殻活動のモニタリング、モデリングなどの地球物理学的な研究を融合させる。そうすることによって、海溝型地震について、長期予測的時間スケール(過去 1 万年～数百年間)と中～短期予測的時間スケール(数十年間～数時間)の地殻変動を統一的に説明できる物理モデルを構築し、最終的には短期予測の実現を目指している。

また、海溝型巨大地震の発生前に多発することが知られている内陸の巨大地震についても、地質・地形学的な研究に地球物理学的な研究を融合させることにより、長期予測(規模予測、時期予測)を目指している。

(34) 成果名：MPレーダを用いた「ゲリラ豪雨」の発生予測に関する研究

機関名：防災科学技術研究所

マルチパラメータレーダ(MPレーダ)でゲリラ豪雨や強風の監視が可能に

都市化が代表するように生活環境は年々大きく変化しており、都市型災害と呼ばれる新たな災害が社会的な問題となっている。例えば 2008 年の夏は、ゲリラ豪雨と呼ばれる局所的な豪雨が 3 大都市圏で多発し、人命が失われ、その対策に関心が高まっている。対策の 1 つとして、MPレーダを用いた「ゲリラ豪雨」の発生予測が研究されている。

MPレーダ技術の開発により、降水に関する様々な情報が得られるようになった。従来の手法は、雨量計による補正が必要なために、数分程度で急激に発達するゲリラ豪雨を捉えることが困難であったが、MPレーダが開発され、1 分毎に 500m メッシュでの豪雨監視が可能になった。さらに複数台の MPレーダからなるレーダネットワーク(X-NET)により、雨に加えて風の 3 次元的な分布情報をリアルタイムで得ることができるようになった。今後は X-NET の情報を雲解像度数値モデルと同化することにより、局所的に発生するゲリラ豪雨や強風の発生機構の解明や予測精度の向上が期待されている。

世界初の大都市先端レーダネットワーク

先ごろ MPレーダネットワーク(X-NET)により都市型水害をもたらすゲリラ豪雨を捕らえることに成功した。この成功がきっかけとなり、国土交通省は 3 大都市圏(関東、中部、関西)と金沢・富山に MPレーダネットワークを整備し、3 年間の試験運用を経て 2013 年度からの運用を計画している。

大都市を対象とした先端的なレーダネットワークは世界的にも初めての試みであり、国内外の防災研究機関、地方公共団体、民間気象会社などから大きな関心を持たれている。

民間サービスも活用した風水害対策への活用期待

MPレーダを用いた高精度予測システム等には、ゲリラ豪雨の予測に加えて、浸水や土砂災害の精密な予測も可能になると期待されている。これらの予測情報を、被害状況等のデータと合わせて自治体等の現場の情報システムで統合し、効果的な災害対策に活かす取り組みも進展している。これにより、風水害時の安全な避難や、家財等の資産被害軽減、効果的な排水や浸水防止対策等への活用が期待される。

また、民間気象会社との共同研究により、強風のナウキャスト技術の開発がなされている。今後、陸上交通や建設業への新たな気象情報サービスへの利用により、事故軽減や高所作業の安全確保が期待される。

本研究開発成果は、風水害の被害を最小限に押さえる安全な社会の構築に向けて、大きな一歩と言える。

(35) 成果名：緊急地震速報の実用化と進展

機関名：気象庁気象研究所

地震観測データを解析し主要な揺れが来る前に警報

地震災害を軽減するために、強い揺れが来る前に警報を発することが実用化された。地震波には伝わる速度が速い P 波と(これが初期微動となる)、伝わる速度は遅いが振幅の大きい S 波がある(これが主要な揺れとなる)。緊急地震速報は、全国に配置された地震観測網を利用し、地震発生時、最初に震源の近くの地震計で観測される P 波を瞬時に解析して、地震の震源及び規模を推定し、S 波以降の強い揺れが各地に到達する前にその揺れを予測し、発表するものである。但し、震源に近いところでは情報の提供が強い揺れに間に合わない場合もある。

緊急地震速報は、地震災害を軽減する新たな技術であり、気象庁と鉄道総合技術研究所や、防災科学技術研究所において技術開発が行われてきた。気象研究所は気象庁の研究機関としてその開発に寄与してきている。

平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震でも被害軽減に貢献

緊急地震速報による情報を利用して、列車やエレベーターをすばやく制御させて危険を回避したり、工場、オフィス、家庭などで避難行動をとることによって被害を軽減させたりすることが期待される。

実際に、2008 年 6 月に発生した岩手・宮城内陸地震(M7.2)で発表された緊急地震速報では、例えば仙台市では強い揺れ(震度 5 強を観測)の約 15 秒前であり、宮城県内の工場では事前にガスの遮断を行った。猶予時間を活用して適切な行動を取ることができた。仙台空港では緊急地震速報の表示を参考に管制官が航空機に対して上空で待機するよう指示した。などの多くの報告がある。

予測精度の向上とより早期の情報提供への取り組み

上記の実用化以降も揺れの予測の精度向上等が課題となっており、今でも関係機関による研究、技術開発が進められている。

気象研究所では、海底地震計を解析に取り込む技術や過去の震度観測記録を用いて揺れの予測精度向上を図る手法について、2008 年までに概ね技術的な目処をつけた。また大地震の後に立て続けに発生し、強い揺れをもたらす余震に対する緊急地震速報の適切な発表が困難な状況にあることから、余震等地震が連発する場合であっても地震を個別に分離して緊急地震速報を組み立てるための研究開発も進めている。

これらの技術の実用化により、海溝型巨大地震であり、甚大な被害が見込まれている東海地震、東南海地震、南海地震の発生海域に設置されるケーブル式海底地震計で観測される P 波を緊急地震速報に的確に活用し、これら巨大地震やその余震の時にいっそう早期に適切な緊急地震速報が発表されることで、適切な危険回避行動につながるものと期待される。

さらに、海溝型巨大地震の発生前に多発することが知られている内陸の巨大または大地震についても、地質・地形学的な研究に地球物理学的な研究を融合させることにより、長期予測(規模予測、時期予測)を目指している。

(36) 成果名：クロマグロ養殖産業の確立と資源保護

機関名： 近畿大学

32 年の忍耐で世界初のマグロ完全養殖に成功

近畿大学水産研究所では、1970 年から、クロマグロの養殖実験を本格的に開始し、32 年の年月を経た 2002 年に世界初の完全養殖に成功した。完全養殖とは、天然マグロの稚魚を成魚にし、その成魚を親として産卵・養殖を続けるというシステムである。マグロの一生を完全に人為下で管理することとなり、自然への負荷が小さい。

現在、世界中の人がマグロを食べるようになり、マグロ資源の確保・保護が世界的な課題になっている。天然の稚魚から育てる従来の養殖では、天然資源への負荷が大きく、完全養殖に大きな期待が寄せられている。

「産卵停止」、「衝突死」、さまざまな困難を克服

研究を続ける中で、11 年(1983～1993)にわたり、産卵のない期間があった。その間、マダイの稚魚の生産事業(全国で養殖される稚魚の 1/3 を占める)から得られた研究費で、研究を続けた。近畿大学総長の「生き物とはそういうものである。簡単に行くはずがない。気を長く持ち、長い目でやりなさい。」という意思決定も研究継続の大きな後押しとなった。

1995 年から少ないながらも人工孵化仔稚魚を成魚にまで飼育することが可能になった。しかし、量産のためには越えなくてはならない大きな三段階の減耗期が存在することが明確になった。それは、一般魚類にもみられる初期減耗期、稚魚期までの共食いによる減耗期、マグロ類に特有のパニック遊泳による衝突死が著しく多発する、稚魚後期から若魚期における減耗期である。水産研究所では、マダイ・ハマチ・ヒラメなど多種の完全養殖に成功しており、初期減耗期・共食いについては、それらの知見を応用して解決した。また、パニック遊泳については、いけすの大きさを変えることや、稚魚の沖出し後 1 ヶ月程夜間照明をすることなどによりクリアした。

世界初、完全養殖クロマグロ養殖用稚魚を出荷

2007 年 12 月、大島実験場で人口孵化させ飼育していた第 3 世代クロマグロの稚魚 1,500 尾を、養殖用種苗として、国内養殖業者に初出荷した。また共同研究のため、韓国国立水産科学院の沖合養殖施設にも運搬・収容している。さらに、養殖クロマグロの水銀含量を低く抑える飼養技術を確立し、食品としての安心・安全を高めることにも成功した。

今後は、太平洋クロマグロだけでなく、危機的な資源状況にある大西洋クロマグロやミナミマグロの種苗量産技術を確立し、すべての養殖用種苗を人工種苗で賄うとともに、安心・安全な成魚の市場流通を促進して、これら重要なマグロ資源の回復に貢献する。また、自然環境との共存を目指した持続的養殖生産方法を探り、良質な食糧・タンパク質源を増産し、流通を促し、世界的規模で養殖産業をバックアップすることを目指していく。

(37) 成果名：自殺予防研究プロジェクト

機関名：秋田大学

自殺予防対策で自殺が減少

過去 10 年以上、秋田県の自殺死亡率は日本の都道府県の中で最も高く、自殺死亡率を減少させることは重大な課題である。こうした状況を背景に 2001 年度以降、秋田大学では、県と連携して、県内 6 自治体をモデル地区として選び、社会医学的アプローチによる予防研究事業を展開した。その結果、モデル地区の自殺死亡率は、2002 年から減少し、2005 年までの 4 年間で半分にまで減少した。これは比較的大規模な自殺予防の成果として、国内で最初の事例であった。

ヘルスプロモーションアプローチで成果

この成果を学術的に発展させるために、県内の自治体及び民間団体と連携して、自殺予防のヘルスプロモーションアプローチを推進した。それは、危機状態にある人への対応や特定のリスクへの対策だけではなく、地域診断などを行い、地域の実情にあった健康教育、住民参画・ソーシャルキャピタルモデルの構築、多部門間の協力を促進するというものである。

併せて、大学院講座の開設、保健福祉関係者を対象とした研修を通じた知識の普及と人材育成、住民組織の育成、海外事例の検討や専門家によるシンポジウムを行い、地域に即した事業を検討して、総合的な自殺予防体制を構築した。

こうした取り組みの結果、このプロジェクトの主たる活動地域である秋田県では、全市町村で自殺予防事業が実施されるようになり、2005 年以降の自殺死亡率は減少傾向となっている。

新しい地域の人間関係や社会性のあり方の提案

自殺予防のためには、自殺についての偏見をなくし、「自殺は予防できること」「自殺は社会的に取り組む課題である」ことを発信することが必要である。個人の精神医学的な問題という観点からのみ自殺防止に取り組むのではなく、地域における人間関係のあり方、社会制度のあり方も含めて、自殺防止に取り組むというアプローチが有効である。

このアプローチは新たな地域づくりとしての人間関係や社会制度のあり方を提案するものであり、そのための学術的基盤を提供するものである。

日本は OECD 加盟国のなかで有数の自殺死亡率の高い国であり、自殺予防は国内における重要な政策課題である。自殺予防研究プロジェクトの成果が国内の他地域にも展開し、全国の自殺予防が促進されることが期待される。

(38) 成果名： 東証マザーズ上場の主軸となった指紋認証装置の認証アルゴリズム開発

機関名： 名古屋工業大学

周波数解析法を用いた生体認証技術の開発

周波数解析法(名古屋工業大学 梅崎教授考案)を基に、指紋断面の凹凸を一次元の波形とみなし、その波形の周波数成分を特徴情報として利用することで、高速・低記憶量・高精度な指紋認証技術を開発した。指紋画像から「指紋らしさ」の成分を大方除去することで、本人固有の特徴を強調する独創的な指紋認証アルゴリズムを用いている。

高速・低記憶量・高精度という大きな特長の他に、①従来方式では登録が困難だった「かすれ指紋」にも対応が可能である、②指紋全体画像の保持が不要なので、指紋画像の流出を防止することができる、③特徴情報から指紋画像を再生することは原理上不可能であるなどの利点も有しており、従来の指紋認証技術を大きく上回る画期的な性能向上を実現した。

多分野で製品化され、連携ベンチャー企業は上場へ

開発された指紋認証技術はさまざまな分野で実用化されている。入退出用のドアタイプは、原子力発電所などの重要施設や住宅の入退出用に鍵の代用として使われるようになり、モバイル機器用は、携帯電話、USB メモリ、ノートパソコンに搭載され、モバイルバンキングなどの新たなITサービスに利用されている。さらに、USB 接続型指紋認証装置が国内外政府機関や自治体および多くの企業に採用され、情報漏えい対策に貢献している。

この技術が多くの分野で採用、製品化されたことによって、共同開発をした名古屋のベンチャー企業である株式会社ディー・ディー・エスが、指紋認証装置を中核事業として、2005 年 11 月に東証マザーズに上場した。その後、販売台数が国内第一位になり、販売ルートも国際的になるなど事業が拡大している。

非接触型センサーの開発で広がる市場

これまでの指紋センサーは接触型のものであったが、既に非接触型の指紋センサーおよび静脈センサーも開発しており、さらに販路が広がることが予想される。今後は、非接触型で、指をモバイル機器に近づけた瞬間に個人データを取得する小型で高性能なハイブリッド型個人認証装置や、指紋・静脈・顔・顔表情・三次元顔画像・声などのマルチモーダルに対応した認証装置の開発によって、ユーザーにとってより利用しやすい認証メディアが生まれることが期待できる。さらに、電子マネーの本格普及に伴う市場拡大、医療機関のミス防止や重機取扱者の特定などの分野での利用が期待できる。

将来的には、バイOMETRICS認証による決済の簡略化、世界的テロ対策などに貢献することが期待される。

(39) 成果名： インフルエンザウイルス感染過程の解明とその応用

機関名： 科学技術振興機構（代表研究機関 東京大学）

インフルエンザウイルス増殖の仕組みを解明

インフルエンザウイルスを構成する個々の蛋白質の性状および機能については、既に詳細な知識が集積しているが、このような基礎研究の知識が、必ずしも病原性の理解や効果的な予防・治療につながっていない。それはインフルエンザウイルスの増殖過程の理解が不十分なためである。そこで、インフルエンザウイルス粒子形成の根幹となるゲノム・パッケージングのメカニズムの解明を進め、これを明らかにすることに成功した。この成果はウイルス増殖過程における重要なステップの解明と新規インフルエンザワクチンやワクチンベクターの開発につながるものである。ここで得られた知見に基づき、現在、H5N1 鳥インフルエンザワクチンや多価ワクチンの開発に、成功している。

新型ウイルス対策の手がかりの発見

インフルエンザは、一般に考えられているより重大な感染症である。高齢者が罹患したときの死亡率は高く、インフルエンザによる死亡者数は大きな流行があると大幅に増加する。90 年前に大流行したスペイン風邪では、全世界で 2,000 万～4,000 万人の死者が出た。現在も、H5N1 鳥インフルエンザウイルスが人から人へ伝播する能力を持って、パンデミック(感染爆発)を起こすようなウイルスに変化することが人類の脅威となっている。

このような状況にあって、高病原性鳥インフルエンザウイルスの人への伝播のメカニズム、抗ウイルス薬耐性株が出現するメカニズムを明らかにし、新型ウイルスが出現したときの対策を考える上で重要な知見を提示した。

さらにカナダ科学研究所の協力を得て、過去の高病原性インフルエンザであるスペイン風邪ウイルスを人工的に合成し、サルでの感染実験を行った。この実験から、スペイン風邪ウイルスや H5N1 ウイルスなど高病原性鳥インフルエンザ感染症に共通の発症メカニズムの解明につながる重要な知見を提示した。

人類の脅威となる感染症の克服へ

今後は、ウイルス感染に起因する宿主応答を分子、細胞、固体レベルで解析し、その全体像を宿主応答ネットワークとして体系化することで、ウイルス感染症の発症とその病態に影響を与える宿主応答を明らかにすると同時に、予防・治療の新たな基盤を創出することを目指している。

さらに、宿主応答ネットワークを用いた薬剤投与シミュレーション、バイオマーカーの探索など新しい治療法への発展、応用を目指している。インフルエンザ研究で開発される新しい解析技術や手法は、他のウイルス感染症にも応用が可能で、人類を脅かすウイルス感染症全般の解明と克服に貢献することが期待される。

第4章 まとめ

第1部「大学・研究機関の多様な成果」では、近年顕著な成果が得られた科学技術事例、あるいは今後大きな期待が見込まれる科学技術事例について調査を実施し、その結果を科学技術に興味のある国民にも分かりやすい形で情報発信することを目指した。成果事例の検討に際しては、本調査が第3期科学技術基本計画をフォローアップするものであることに鑑み、第3期科学技術基本計画で定めた政策目標体系を基にした「成果の意義分類」を定義し、成果を整理する枠組みとして活用した。結果の概要は以下の通りである。

(1)研究成果のデータベース化

機関としての主な投資先である大学・公的研究機関に限定した研究成果について、各機関へのアンケート調査に基づく事例収集を行い、回答結果を成果データベースとしてまとめた。国公立大学、私立大学、および公的研究機関の合計 318 機関を調査対象とし、成果の内容や実現時期などに関して質問した。全機関の 6 割に相当する 189 機関から回答があり、1052 件の成果が寄せられた。得られた成果を機関別の内訳で見ると、国公立大学が 558 件(53%)、私立大学が 242 件(約 23%)、公的研究機関が 252 件(約 24%)であった。

- ・ 大政策目標による内訳を全機関合計で見ると(第 1-4-1 表)、「目標1 飛躍値の発見・発明」が 275 件(約 26%)、「目標2 科学技術の限界突破」が 67 件(約 6%)、「目標3 環境と経済の両立」が 146 件(約 14%)、「目標4 イノベーター日本」が 189 件(約 18%)、「目標5 生涯はつらつ生活」が 203 件(約 19%)、「目標6 安全が誇りとなる国」が 118 件(約 11%)、「これら政策目標に該当しない分野」が 54 件(約 5%)であり、「目標1 飛躍知の発見・発明」に占める比率が約 26%と最も大きかった。
- ・ また、社会還元される際の明確な方向性が広範で特定しにくい研究段階にある大政策目標1と2の合計比率が約 33%であるのに対して、ある程度明確な成果の方向性を目指した研究開発領域である大政策目標3～6の合計比率が約 62%であった。
- ・ このことから、大学や公的な研究機関において、社会還元の位置付けを意識した研究が 6 割程度実施されていると考えられる。
- ・ 得られた成果事例の実現時期別の内訳を見ると、「期間中に実現した」が約 27%、「期間中に一部実現した」が約 52%、「今後 5 年程度で実現が期待できる」が約 19%であり、「期間中に実現した」と「期間中に一部実現した」を合計した 8 割の成果がすでに実現していると答えている。
- ・ これは、本アンケート調査において、1 機関の回答数を最大10件に限定したために、各機関において明確な成果が厳選された結果によるものと推測される。

第 1-4-1 表 第 1 部「大学・研究機関の多様な成果」のアンケート集計結果概要

大政策目標	全成果1052件の内訳		大政策目標毎の成果の実現時期内訳			
	(件数)	(割合)	期間中に 実現した	期間中に 一部実現 した	今後5年程度 で実現が 期待できる	未記入
<目標1> 飛躍知の発見・発明	275	26.1%	40.4%	46.5%	10.5%	2.5%
<目標2> 科学技術の限界突破	67	6.4%	34.3%	46.3%	19.4%	0.0%
<目標3> 環境と経済の両立	146	13.9%	25.3%	54.1%	19.9%	0.7%
<目標4> イノベーター日本	189	18.0%	22.8%	57.7%	16.9%	2.6%
<目標5> 生涯はつらつ生活	203	19.3%	19.7%	51.7%	28.1%	0.5%
<目標6> 安全が誇りとなる国	118	11.2%	22.9%	53.4%	22.9%	0.8%
上記政策目標に該当しない研究分野	54	5.1%	13.0%	61.1%	20.4%	5.6%
			27.4%	52.1%	18.8%	1.7%

平均

(2)代表的成果39事例の選定

得られた回答成果 1052 件に対して事務局が全て内容を吟味し、122 件まで絞込みを行った。絞込みの視点は、成果に関する記載内容(各機関による記述)が理解しやすく、重要性が分かりやすいもの、メディアやトップジャーナルなど第三者による取り上げや表彰実績があるもの、今後の発展性が期待されるもの、などである。絞り込まれた 122 件全てに対して委員が目を通し、代表的成果として推薦する事例に投票した。成果の意義分類とした政策目標毎に、得票数の多いものから事例を選択し、最終的に合計39事例とした。第 1-4-2 表～第 1-4-3 表は、選定された代表的成果39事例のリストである。

第 1-4-2 表 代表的成果39事例のリスト (大政策目標 1～3)

大政策目標	中政策目標	No.	成果名	機関名
<目標1> 飛躍知の 発見・発明	(1)新しい原理・現象の発見・解明 (2)非連続な技術革新の源泉となる知識の創造	1	新系統の高温超伝導物質を発見	東京工業大学
		2	マイクロ波による無線エネルギー送電技術の確立	京都大学
		3	世界で初めてシラスウナギの人工生産に成功	水産総合研究センター
		4	細胞死の分子機構解明	京都大学・大阪大学
		5	グリーンランド氷床コアから解読した過去の地球環境情報	北見工業大学
		6	新しい光ナノ構造「フォトリソグラフィ」の開発とそれによる自在な光制御の実現	京都大学
		7	光で生体の脳回路を見てみよう	生理学研究所
<目標2> 科学技術の 限界突破	(3)世界最高水準のプロジェクトによる科学技術の牽引	8	月の起源と進化の解明に迫る、月周回衛星「かぐや」	宇宙航空研究開発機構
		9	サイレント超音速飛行機「MISORA」	東北大学
		10	地球深部探査船「ちきゅう」の建造と「南海トラフ地震発生帯掘削計画」の開始	海洋研究開発機構
<目標3> 環境と 経済の 両立	(4)地球温暖化・エネルギー問題の克服	11	南北両極域における温室効果気体の観測による地球環境変動の研究	国立極地研究所
		12	超高効率な発電性能を有する風力発電機の開発と高精度な数値風況予測による風力エネルギーの有効利用	九州大学
		13	メタンガスを原料とする水素及びナノカーボンのコプロダクション	北見工業大学
	(5)環境と調和する循環型社会の実現	14	亜臨界水処理とメタン発酵による有機性廃棄物の資源・エネルギー化	大阪府立大学
		15	バイオエタノールを選択的に低級オレフィンに転換しバイオプラスチック製造を可能にする触媒の開発	東京工業大学
		16	トンネル内浅層地中熱を利用した水平Uチューブ方式によるトンネル坑口の融雪システム	福井大学

第 1-4-3 表 代表的成果39事例のリスト（大政策目標 4～6）

大政策 目標	中政策 目標	No.	成果名	機関名
<目標4> イノベーター 日本	(6) 世界を魅了するユビキタスネット社会の実現	17	トロンが作る多漢字利用システム	東京大学
		18	人を引き込む身体的コミュニケーション技術(身体的引き込み技術)	岡山県立大学
		19	時系列メディアのデザイン転写技術の開発	関西学院大学
	(7) ものづくりナンバーワン国家の実現	20	常温でセラミックスを作る省エネプロセス技術	産業技術総合研究所
		21	世界最強の超軽量マグネシウム合金	熊本大学
		22	未来蓄電デバイス材料の創成	関西大学
	(8) 科学技術により世界を勝ち抜く産業競争力の強化	23	宇宙生活の安全性と快適性を保障する生活関連の技術開発	日本女子大学
		24	生物磁石合成機構の解明と医療計測への応用	東京農工大学
		25	世界最高水準のロケットの開発	宇宙航空研究開発機構
<目標5> 生涯はつらつ生活	(9) 国民を悩ます病の克服	26	個体内レドックス制御因子(酸素濃度・活性酸素・pHなど)の同時分離画像解析を可能とする多重磁気共鳴生体レドックス画像化システム	九州大学
		27	世界初の新規抗血栓薬の開発	三重大学
		28	ヒトがんワクチン療法の開発	東京慈恵会医科大学
	(10) 誰もが元気に暮らせる社会の実現	29	アルツハイマー病の原因物質の分子メカニズム解明	理化学研究所
		30	肝臓再生医療	山口大学
		31	生体分子を標的とする分子認識を基盤とした難病治療薬の開発	京都薬科大学
<目標6> 安全が誇りとなる国	(11) 国土と社会の安全確保	32	災害時に役立つヘリコプター衛星通信システム	情報通信研究機構
		33	巨大地震の研究	産業技術総合研究所
		34	MPLレーダを用いた「ゲリラ豪雨」の発生予測に関する研究	防災科学技術研究所
		35	緊急地震速報の実用化と進展	気象庁気象研究所
	(12) 暮らしの安全確保	36	クロマグロ養殖産業の確立と資源保護	近畿大学
		37	自殺予防研究プロジェクト	秋田大学
		38	東証マザーズ上場の主軸となった指紋認証装置の認証アルゴリズム開発	名古屋工業大学
		39	インフルエンザウイルス感染過程の解明とその応用	科学技術振興機構 (代表研究機関 東京大学)

成果の情報発信

なお、本調査結果を科学技術に興味のある国民にも分かりやすい形で情報発信することを目的に、調査によって得られた科学技術成果について、事例集「大学・公的研究機関の多様な成果事例集」を作成し、別途公表する。

第2部 公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割

第1章 調査の進め方

1. 目的

本調査では、近年、顕著な成果が認められる科学技術成果を選定し、その成果が、経済・社会・国民生活にもたらしたインパクトを明らかにするとともに、インパクト実現の過程において有効であった公的研究開発・支援の寄与を分析することによって、今後の科学技術政策における政府投資のあり方の議論に資する事を目的とした。また、その成果を科学技術に興味のある国民にも分かり易い形で提示することを目的とした。

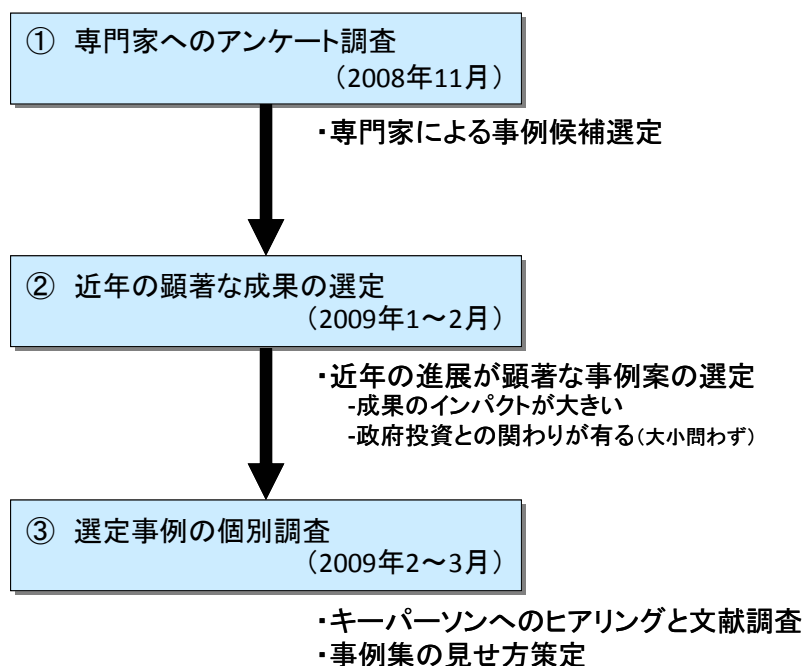
科学技術には、成果の貢献内容や研究段階など、様々な領域があり、それら研究領域を支える政府の支援にも自ずと多様な役割が求められる。本調査では一つ一つの施策効果だけでなく、広範な科学技術の特徴に応じて対応してきた政府支援の姿を俯瞰することによって、これまでに果たしてきた政府投資の役割とその多様性について検証することを目指した。

2. 調査手順

以下の手順で、大きく三つの作業に分けて調査を行なった。

- ① 専門家へのアンケート調査
- ② 近年の顕著な成果の選定
- ③ 選定事例の個別調査

第 2-1-1 図 公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割に関する調査手順



なお、本調査にあたっては、科学技術成果をより国民へアピールするための情報発信のあり方や国民目線の事例選定についてアドバイスをいただくことを目的として、産業技術総合研究所の餌取章男広報アドバイザーを委員長とする科学技術ジャーナリズムを専門にした以下委員会を設置し、調査・検討を実施した。

(委員長)

餌取 章男 産業技術総合研究所 広報アドバイザー

(委員)

小出 重幸 読売新聞東京本社 科学部 部長

藤本 瞭一 早稲田大学 グローバル連携戦略研究所 教授

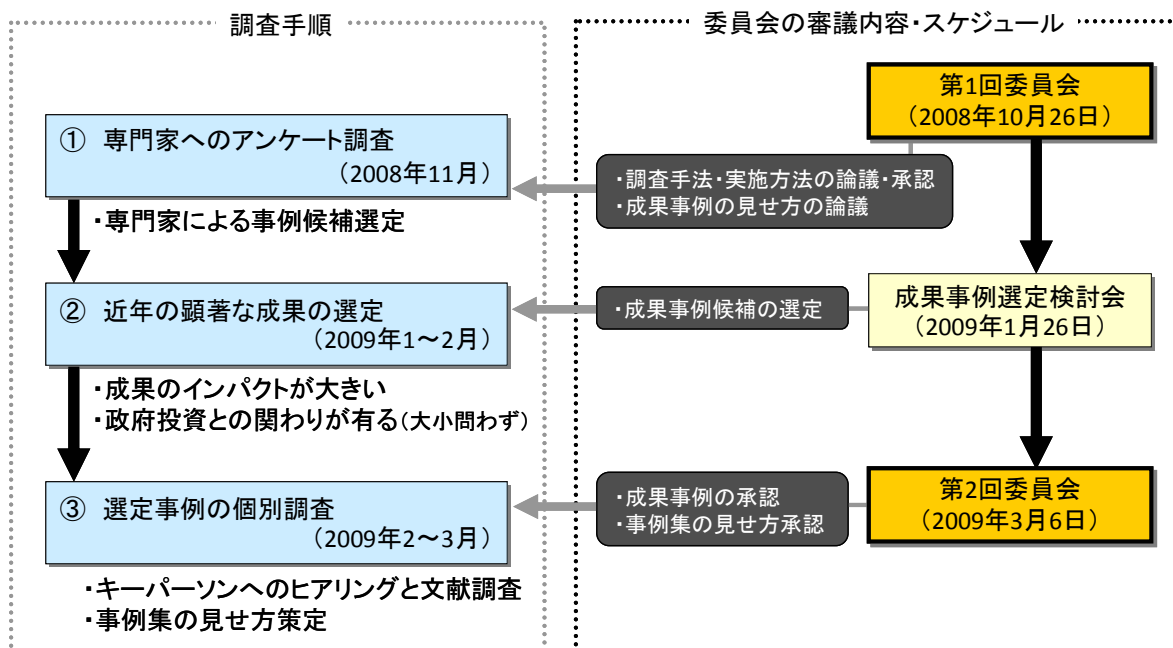
丸山 正明 日経 BP 産学連携事務局 編集委員

森 健一 東京理科大学 MOT 大学院 教授

由利 伸子 サイテックコミュニケーションズ代表・プロデューサー

(委員は五十音順、敬称略)

第 2-1-2 図 委員会の審議概要



第2章 調査の概要

第1節 専門家へのアンケート調査

最近顕著な成果が認められる科学技術事例を選定するために、先ず、第三者による客観的な意見を把握することから開始した。本調査では、科学技術 8 分野に属する専門家からアンケートによって広範な意見を伺う以下手法を活用することによって、近年の顕著な成果の候補抽出を目指した。

1. 調査実施方法

過去に策定した 8 分野 310 の科学技術リスト^(注1)の中から回答者が専門分野に該当する成果を選び、あるいはそのリスト以外に追加すべき任意の成果を決めて、これら成果について以下の調査票を用いて各成果のインパクトと公的支援の寄与について回答していただいた。得られた回答結果を集計し、インパクトの大きさと実現度合いから、成果が顕著な事例候補を選定した。

調査対象： 専門家ネットワーク^(注2)

調査期間： 2008 年 11 月 17 日～12 月 2 日

第 2-2-1-1 図 調査票の質問項目(1)

問1 リストに示す事例について、以下インパクト分類毎にその大きさをお答えください。

- ・この調査におけるインパクトとは、技術が経済、社会、国民生活に与える効果のことです。
- ・インパクトの大きさを、以下に示す通り「大:2、小:1」でお答えください。
- インパクト「大」： これまでとは異質な将来を期待できる。
- インパクト「小」： 現状の問題を解決できる。
- インパクトがないとお考えの場合は、空欄としてください。
- ・インパクトの発現時期としては、現在までだけでなく今後10～15年程度までを想定してください。

経済的インパクト	市場(雇用)の創出・拡大
	コスト削減
	事業継続のリスク削減
	国際競争力の向上
社会的インパクト	環境・エネルギー・資源問題への貢献
	高齢化社会への対応
	社会インフラ・防災性の向上
	国際平和・貧困等への貢献
国民生活へのインパクト	国民の生命・生活確保
	国民の健康維持・増進
	国民の利便性・快適性の向上
	国民意識・ライフスタイルの変革

問2 選定事例の現在における実現度合いをパーセントでお答えください。

(注1) 前回調査(NISTEP REPORT No.89 基本計画の達成効果の評価のための調査 科学技術振興による経済・社会・国民生活への寄与の定性的評価・分析)で策定した8分野毎の科学技術リストで、デルファイ課題等から策定したもの

(注2) 科学技術動向研究センターが保有する8分野(ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料、エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア)の研究者約 2,000 名からなるネットワーク。

第 2-2-1-2 図 調査票の質問項目(2)

問3 リストに示す事例について、以下公的投資分類毎に、これまでの寄与の大きさをお答えください。

- ・この調査における公的投資の寄与とは、公的な投資が研究開発の進展に与える効果のことです。
- ・寄与の大きさを、以下に示す通り「大:2、小:1」、でお答えください。
 公的投資の寄与「大」: 公的投資の寄与がなければ、インパクトが実現しなかったであろう。
 公的投資の寄与「小」: 公的投資の寄与がなければ、インパクト実現時期が遅れたであろう。
 公的投資の寄与がないとお考えの場合は、空欄としてください。

問4 リストに示す事例について、以下公的投資分類毎に、今後の期待の大きさをお答えください。

- ・この設問では、さらに成果を高めるためにどのような公的投資に期待しているかをお答えください。
- ・期待の大きさを、以下に示す通り「大:2、小:1」、でお答えください。
 公的投資の期待「大」: 公的投資の寄与がなければ、インパクトの実現は到底無理であろう。
 公的投資の期待「小」: 公的投資の寄与がなければ、インパクト実現時期が遅れるであろう。
 公的投資がなくても企業などの投資だけで十分実現可能とお考えの場合は、空欄としてください。

科学技術に対する公的投資分類

研究開発への 直接的公的投資	基礎研究段階
	生産技術、開発段階
	社会制度化・普及促進段階
研究開発以外への公的投資・支援(規制の強化や緩和など)	

2. 回答結果

本アンケートでは、調査対象機関人数の約 23%に相当する 468 人の専門家から回答が寄せられた(第 2-2-1-3 表)。延べ 8768 件、一人当たり約 19 件の成果回答があった。また成果は 310 種類であり、各成果当たり約 28 人から回答があった。

第 2-2-1-3 表 アンケート回答結果

アンケート回収結果	
回答人数	468(人)
述べ回答成果数	8768(件)
成果数(種類)	310(事例)

次に、成果のインパクトが大きい事例を明確にするために、第 2-2-1-1 図 調査票の質問項目(1)の問1の項目について集計した。第 2-2-1-4 表～第 2-2-1-11 表は、この結果のうち 8 分野毎の上位 10 事例を示したものである。この結果は各分野の専門家が答えた近年の顕著な成果事例であると捉え、後に成果事例候補を策定する際の重要な判断材料にすることとした。

第 2-2-1-4 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例（ライフサイエンス分野）

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	新興感染症の予防ワクチン	15.7	50.3%	5.1	5.9
2	がんの早期発見、診断技術	14.4	59.3%	5.2	5.3
3	各種感染症についての迅速な原因微生物同定による診断技術	14.3	58.2%	4.4	5.0
4	動脈硬化の発症機構解明（一部解明を含む）とその応用	14.1	56.9%	4.5	4.6
5	高コレステロール症治療薬	13.8	63.3%	4.3	4.2
6	がん化機構解明（転移機構、一部解明を含む）とその応用	13.4	46.1%	5.0	5.1
7	動物培養細胞による医薬品等有用物質の生産技術	13.4	49.4%	4.6	4.8
8	幹細胞（Stem CellまたはES（胚性幹）細胞）による培養自己組織を人工臓器・組織の材料として用いる技術	13.3	37.7%	5.2	5.7
9	発がん過程を促進する環境要因の発見とそれに基づくがんの予防策	13.3	45.3%	4.7	4.9
10	アルツハイマー病の発症機構の解明（一部解明を含む）とその治療法	13.2	42.3%	4.4	4.9

第 2-2-1-5 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例（情報通信分野）

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	ユビキタス(Ubiquitous)コンピュータ・ネットワーク	16.1	41.7%	3.8	4.7
2	バイオセンサ等(CT、超音波、赤外線画像伝送装置、高解像度モニタシステム)を用いた遠隔医療システム	15.1	34.1%	3.9	4.6
3	インターネット（オープンで低価格な利用環境によるグローバルなコンピュータ通信ネットワーク）	15.0	59.0%	2.9	2.9
4	物流用の非接触型スマートICカードやRF-ID(Radio Frequency Identification) タグ	14.6	48.1%	3.2	3.3
5	ITS(インテリジェント・トランスポート・システム)および要素技術(GPS、ETC、VICS等)	14.2	51.5%	4.0	4.2
6	エージェント技術	13.9	38.4%	3.9	4.0
7	指紋・筆跡・音声・顔等の特徴を用いた個人識別セキュリティシステム	13.6	46.8%	3.3	3.9
8	ミリ波半導体デバイス（無線LANや自動車衝突防止レーダー等用）	13.4	38.6%	3.3	3.6
9	高速光加入系システム	13.4	57.2%	3.5	3.4
10	家電製品（パソコンを含む）のホームネットワーク	13.3	44.7%	3.0	3.5

第 2-2-1-6 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例（環境分野）

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	特定化学物質の人体、生体への影響解明（一部解明を含む）と対策技術	14.2	47.1%	4.7	5.1
2	大気汚染、騒音公害を起こさない低公害自動車（例えば電気自動車）	13.8	53.7%	4.5	4.6
3	河川・湖沼等の水質浄化技術（環境改善および水利用促進のため）	13.6	55.9%	4.5	4.6
4	低コスト型リサイクル技術	13.6	47.7%	4.1	4.5
5	膜処理による水質改善技術	13.3	66.3%	3.6	3.5
6	ディーゼル車の微粒子状物質の排出削減技術	13.2	62.7%	4.2	4.0
7	環境リスクの事前評価技術	12.6	47.3%	4.1	4.8
8	安全な廃棄物処理及びリサイクル技術	12.3	51.2%	4.1	4.4
9	二酸化炭素以外の温室効果ガスの大気中濃度の増加抑制技術	12.3	42.6%	4.1	4.5
10	地球温暖化および気候変化の予測技術	12.3	45.9%	4.5	4.8

第 2-2-1-7 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例（ナノテクノロジー・材料分野）

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	太陽電池	14.3	67.9%	5.0	4.9
2	リチウム電池の小型化・長寿命化技術	13.0	56.3%	3.6	3.9
3	DNAチップ（遺伝子発現解析ツール）	12.5	53.4%	3.7	4.5
4	太陽光による水分解プロセス技術	12.5	38.6%	3.6	4.8
5	有機半導体デバイス(有機ELを含む)	12.3	55.1%	4.0	4.2
6	窒化物半導体(窒化ガリウム、窒化アルミニウム、窒化ホウ素)結晶成長技術	11.9	64.7%	3.8	4.0
7	鉄に代替しうる軽量・高強度の構造材料	11.8	45.4%	3.7	4.4
8	光触媒材料	11.7	61.8%	3.8	4.1
9	分子識別性の物質透過膜を利用した人工臓器やバイオセンサ	11.5	47.9%	3.3	3.9
10	超LSI製造のための高分解能の半導体微細加工・計測技術	11.4	62.6%	4.1	3.9

第 2-2-1-8 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例（エネルギー分野）

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	自動車動力用バッテリー技術	14.2	51.1%	4.2	4.5
2	住宅電力供給用太陽電池システム	13.8	61.5%	5.0	4.8
3	軽水炉の高度検査技術	13.4	59.2%	3.7	4.1
4	ヒートポンプ給湯技術	12.9	71.7%	3.6	3.8
5	燃料電池自動車	12.7	30.3%	4.9	4.9
6	家庭用燃料電池システム	12.1	42.7%	4.9	4.7
7	高効率ガスタービンによる大型複合サイクル発電技術	12.0	65.6%	4.0	3.8
8	高断熱による省エネルギー住宅	11.8	59.5%	3.1	3.4
9	LED利用照明および信号システム	11.8	60.4%	3.7	3.8
10	先進的核燃料サイクル技術（群分離、核変換処理等）	11.7	32.8%	4.6	5.0

第 2-2-1-9 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例（ものづくり技術分野）

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	排泄や入浴等を含む多目的看護や身障者への機能補助を行うロボット	14.9	41.4%	3.7	4.5
2	ゼロエミッション化技術（二酸化炭素回収技術や製造分解技術等によるゼロエミッションファクトリー等の実現）	12.4	36.9%	4.2	5.2
3	汎用プラスチックのリサイクルシステム	12.0	64.2%	3.8	3.8
4	固体廃棄物処理場用バイオリアクタシステム	12.0	80.0%	4.0	4.0
5	低環境負荷型のものづくりーものこわし型製造システム（生産システム「設計→生産→使用→廃棄」と資源循環システム「回収→分解・選別→再利用→生産」の一体化）	11.6	45.4%	3.4	4.2
6	視覚と聴覚に関連づけられた人間のアナログ的な認知の世界と、コンピュータや通信などのデジタル処理の人工物の世界をつなぐインターフェース技術	11.4	31.8%	3.4	4.5
7	廃棄物選別回収システムおよび、再生原料や再生品を生産・流通・消費する循環システム	11.3	42.7%	3.4	4.7
8	製品ライフサイクル(設計、開発、製造、運用、保守、廃棄など)に沿って生産活動を支援(最適化・効率化・許認可申請など)するバーチャル・マニファクチャリングシステム	11.1	47.3%	3.3	3.6
9	廃棄された製品を資源として回収分離しやすい製品設計技術	11.1	42.6%	3.1	4.6
10	自動車や家電など主要製品の産業単位でのリサイクル・リユース技術	11.1	53.9%	3.3	4.5

第 2-2-1-10 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例（社会基盤分野）

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	総合ホームセキュリティシステム（過熱、漏電、ガスもれ等をチェックし安全装置が作動等）	13.6	51.9%	3.1	3.4
2	各地への救急医療センターの設置、および必要なデータの中央医療センターでの解析により、適切な救急医療が受けられるシステム	13.4	48.1%	4.6	4.9
3	構造物の免振・制振構造技術	12.8	70.0%	4.3	4.3
4	巨大地震発生時の構造物や地盤の正確な挙動シミュレーション技術	12.7	49.6%	4.2	4.5
5	GISをベースとした地域情報統括システム	12.6	64.2%	4.1	4.0
6	超高層ビルの災害（火災、地震等）対応技術	12.4	59.3%	3.8	3.6
7	震度7クラスの地震に対する建築物の設計・解析技術	12.3	63.1%	4.1	4.0
8	局地的な気象予報技術（集中豪雨・豪雪等の短時間予報を含む）	12.2	44.0%	4.2	4.8
9	高齢者や身障者も健常者と同じように利用できるマンマシンインターフェース技術（都市公共施設等）	12.2	43.9%	4.5	4.7
10	地下鉄・地下街の防災性向上による大都市の地下空間高度利用技術	11.8	50.2%	4.3	4.6

第 2-2-1-11 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例（フロンティア分野）

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	高精度測位衛星システム(GPS)とその応用	13.5	71.5%	4.1	3.6
2	人工衛星による海洋中・海洋上に対するリモートセンシング技術（水温、海流、クロロフィル濃度、波浪、風、高度、海色等の情報把握）	13.0	60.3%	5.5	5.3
3	日本近海の海流変動の予知・予報技術	12.6	54.0%	4.8	5.1
4	人工衛星によるリモートセンシング技術（大気汚染の分布・移動、農林資源や農林環境変化、都市環境情報等の地表の物理量に対するモニタリング）	12.4	59.3%	5.9	5.6
5	自動車、船舶、航空機移動無線システムのための低軌道周回衛星通信システム	12.0	36.5%	4.7	4.8
6	全地球的(陸域における水、土壌水分、折出塩濃度、氷雪分布)に測定するマイクロ波放射計	11.9	60.0%	5.7	5.9
7	人工衛星による潮汐・津波観測および湾岸地形等のデータを用いた津波予報システム	11.8	52.3%	5.2	5.6
8	人工衛星等による24時間リアルタイムで地球全体の環境モニタリングシステム	11.7	45.4%	5.5	6.3
9	海洋環境・生物生産力の変動状況の監視・把握および長期予測技術	11.4	47.5%	5.4	6.0
10	人工衛星(アルゴス)による洋上データ収集システム	11.4	75.0%	5.0	4.5

第2節 近年の顕著な成果の選定

1. 成果とりまとめの枠組みとアンケート結果の分析

本調査が「第3期科学技術基本計画のフォローアップに係る調査研究」の一環であるという趣旨に鑑み、第1部「大学・研究機関の多様な成果」と同様に、第3期科学技術基本計画の政策目標の枠組みを設定し(第2-2-2-1図)、代表的成果事例を選定した。

第2-2-2-1図 政策目標の枠組み

第3期科学技術基本計画の枠組み		
理念	大政策目標	中政策目標
<理念1> 人類の英知を生む	<目標1> 飛躍知の発見・発明 ～未来を切り拓く多様な知識の蓄積・創造	(1)新しい原理・現象の発見・解明 (2)非連続な技術革新の源泉となる知識の創造
	<目標2> 科学技術の限界突破 ～人類の夢への挑戦と実現	(3)世界最高水準のプロジェクトによる科学技術の牽引
<理念2> 国力の源泉を創る	<目標3> 環境と経済の両立 ～環境と経済を両立し持続可能な発展を実現	(4)地球温暖化・エネルギー問題の克服
		(5)環境と調和する循環型社会の実現
	<目標4> イノベーター日本 ～革新を続ける強靱な経済・産業を実現	(6)世界を魅了するユビキタスネット社会の実現
		(7)ものづくりナンバーワン国家の実現
<理念3> 健康と安全を守る	<目標5> 生涯はつらつ生活 ～子供から高齢者まで健康な日本を実現	(8)科学技術により世界を勝ち抜く産業競争力の強化
		(9)国民を悩ます病の克服 (10)誰もが元気に暮らせる社会の実現
	<目標6> 安全が誇りとなる国 ～世界一安全な国・日本を実現	(11)国土と社会の安全確保 (12)暮らしの安全確保

アンケート調査で8分野毎に得られた前節の集計結果を、上記の成果とりまとめの枠組みで示した政策目標の括りで改めて仕分け直し、集計した。第2-2-2-2表～第2-2-2-6表は、この結果のうち上位10事例を示したものである。後の代表成果事例の候補策定に当たり、各政策目標でより上位に挙げられた事例ほど、第三者としての専門家の意見を強く反映できるものとして配慮し、8分野毎に示された前述の上位事例(第2-2-1-4表～第2-2-1-11表)と併せて、重要な判断材料とした。

第 2-2-2-2 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例

(〈大目標1〉飛躍知の発見・発明、〈大目標2〉科学技術の限界突破)

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	幹細胞(Stem CellまたはES(胚性幹)細胞)による培養自己組織を人工臓器・組織の材料として用いる技術	13.3	37.7%	5.2	5.7
2	人間の記憶、認識及び学習のメカニズムをまねることによる計算機科学への応用	11.8	30.8%	3.4	3.7
3	人工衛星等による24時間リアルタイムで地球全体の環境モニタリングシステム	11.7	45.4%	5.5	6.3
4	100G～1Tヘルツで発振できる素子技術	11.6	27.6%	3.3	3.8
5	ゲノム高速解析技術(高速、高感度、小型DNAシーケンサー等)	11.5	64.5%	4.5	4.4
6	衛星からの地表(地上、海洋)のモニタリングシステム	11.5	55.9%	4.7	5.0
7	脳の高次機能の物質的基礎解明(一部解明を含む)とその応用	11.5	34.0%	4.6	4.6
8	全光制御によるフォトニックスルーター技術	11.2	29.8%	3.2	3.5
9	多数のプロセッサ結合による高演算速度の並列コンピュータ	11.1	50.4%	3.1	3.1
10	核酸、タンパク質の配列情報のデータベース蓄積・管理とその応用	10.2	54.7%	4.3	4.4

第 2-2-2-3 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例 (〈大目標3〉環境と経済の両立)

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	太陽電池	14.3	67.9%	5.0	4.9
2	自動車動力用バッテリー技術	14.2	51.1%	4.2	4.5
3	特定化学物質の人体、生体への影響解明(一部解明を含む)と対策技術	14.2	47.1%	4.7	5.1
4	住宅電力供給用太陽電池システム	13.8	61.5%	5.0	4.8
5	大気汚染、騒音公害を起こさない低公害自動車(例えば電気自動車)	13.8	53.7%	4.5	4.6
6	河川・湖沼等の水質浄化技術(環境改善および水利用促進のため)	13.6	55.9%	4.5	4.6
7	低コスト型リサイクル技術	13.6	47.7%	4.1	4.5
8	軽水炉の高度検査技術	13.4	59.2%	3.7	4.1
9	膜処理による水質改善技術	13.3	66.3%	3.6	3.5
10	ディーゼル車の微粒子状物質の排出削減技術	13.2	62.7%	4.2	4.0

第 2-2-2-4 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例 (〈大目標4〉イノベーション日本)

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	ユビキタス(Ubiquitous)コンピュータ・ネットワーク	16.1	41.7%	3.8	4.7
2	インターネット(オープンで低価格な利用環境によるグローバルなコンピュータ通信ネットワーク)	15.0	59.0%	2.9	2.9
3	物流用の非接触型スマートICカードやRF-ID(Radio Frequency Identification) タグ	14.6	48.1%	3.2	3.3
4	ITS(インテリジェント・トランスポート・システム)および要素技術(GPS、ETC、VICS等)	14.2	51.5%	4.0	4.2
5	エージェント技術	13.9	38.4%	3.9	4.0
6	ミリ波半導体デバイス(無線LANや自動車衝突防止レーダー等用)	13.4	38.6%	3.3	3.6
7	動物培養細胞による医薬品等有用物質の生産技術	13.4	49.4%	4.6	4.8
8	高速光加入者系システム	13.4	57.2%	3.5	3.4
9	家電製品(パソコンを含む)のホームネットワーク	13.3	44.7%	3.0	3.5
10	Eペーパー(電子ペーパー)	13.3	38.6%	3.3	3.8

第 2-2-2-5 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例（〈大目標5〉生涯はつらつ生活）

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	バイオセンサ等(CT、超音波、赤外線画像伝送装置、高解像度モニタシステム)を用いた遠隔医療システム	15.1	34.1%	3.9	4.6
2	排泄や入浴等を含む多目的看護や身障者への機能補助を行うロボット	14.9	41.4%	3.7	4.5
3	がんの早期発見、診断技術	14.4	59.3%	5.2	5.3
4	動脈硬化の発症機構解明（一部解明を含む）とその応用	14.1	56.9%	4.5	4.6
5	高コレステロール症治療薬	13.8	63.3%	4.3	4.2
6	がん化機構解明（転移機構、一部解明を含む）とその応用	13.4	46.1%	5.0	5.1
7	発がん過程を促進する環境要因の発見とそれに基づくがんの予防策	13.3	45.3%	4.7	4.9
8	アルツハイマー病の発症機構の解明（一部解明を含む）とその治療法	13.2	42.3%	4.4	4.9
9	食品と食事の健康機能性（抗酸化機能、脳機能、咀嚼機能）の解明（一部解明を含む）とその応用（食品・食事法等の開発）	12.7	49.7%	4.2	4.4
10	がん化細胞と正常細胞の生体内識別による抗がん治療法	12.6	41.4%	4.4	4.6

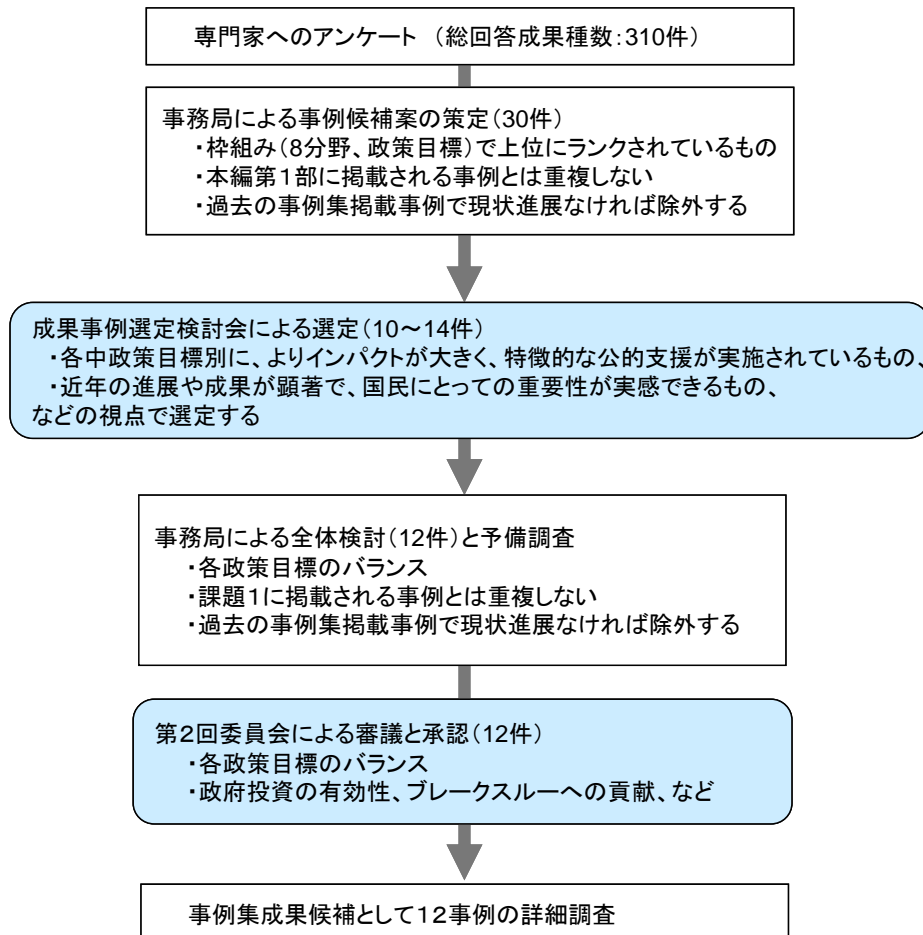
第 2-2-2-6 表 アンケートによるインパクトの高い上位10事例（〈大目標6〉安全が誇りとなる国）

順位	成果事例	アンケート結果 総計値			
		問1. インパクト (0-24)	問2. 実現 度合い	問3. これまでの 公的投資 (0-8)	問4. 今後の公 的投資へ の期待(0-8)
1	新興感染症の予防ワクチン	15.7	50.3%	5.1	5.9
2	各種感染症についての迅速な原因微生物同定による診断技術	14.3	58.2%	4.4	5.0
3	指紋・筆跡・音声・顔等の特徴を用いた個人識別セキュリティシステム	13.6	46.8%	3.3	3.9
4	総合ホームセキュリティシステム（過熱、漏電、ガスもれ等をチェックし安全装置が作動等）	13.6	51.9%	3.1	3.4
5	高精度測位衛星システム(GPS)とその応用	13.5	71.5%	4.1	3.6
6	各地への救急医療センターの設置、および必要なデータの中央医療センターでの解析により、適切な救急医療が受けられるシステム	13.4	48.1%	4.6	4.9
7	自動車の衝突直前予測・安全対応技術	13.2	37.5%	3.4	4.5
8	人工衛星による海洋中・海洋上に対するリモートセンシング技術（水温、海流、クロロフィル濃度、波浪、風、高度、海色等の情報把握）	13.0	60.3%	5.5	5.3
9	構造物の免振・制振構造技術	12.8	70.0%	4.3	4.3
10	巨大地震発生時の構造物や地盤の正確な挙動シミュレーション技術	12.7	49.6%	4.2	4.5

2. 事例選定の手順

これまでのアンケートの集計結果を基に、以下調査手順に従って事例の選定を実施した。以下にその概要を示す。

第 2-2-2-7 図 近年の顕著な成果 12 事例の選定手順



前述のアンケート集計結果（8 分野別；第 2-2-1-4 表～第 2-2-1-11 表、政策目標別；第 2-2-2-2 表～第 2-2-2-6 表）で上位にランクされた事例を参考に、事例候補案として 30 事例に絞り込んだ。この事例候補案を基に成果事例選定検討会（第 2-1-2 図参照）を開催し、事例選定に関する審議を実施した。成果事例選定検討会で委員などから新たに提案された事例を含め、第 2-2-2-8 表に示した全 33 事例が審議された。第2回委員会（第 2-1-2 図参照）での審議・承認を経て、大政策目標毎に2事例、合計12事例が選定された。第 2-2-2-9 表に、選定された近年の顕著な成果12事例の概要を一覧で示した。これら各事例に関する成果のインパクトや政府投資の状況などについて、次章で詳しく説明する。

なお、事例候補の策定に当たっては、前回調査^{（注）}で選定された事例（第 2-2-2-10 表）に関する扱いを審議し、「専門家へのアンケート集計結果で上位にランクされた事例が、前回選定された

（注） NISTEP REPORT No.89 基本計画の達成効果の評価のための調査 科学技術振興による経済・社会・国民生活への寄与の定性的評価・分析 2005 年 3 月

事例と同一である場合、最近の進展が顕著である場合には候補とするが、特に大きな進展が認められない場合には候補の対象外とすることとした。また、政府投資による成果を検討することが本調査の趣旨であるため、公的投資との関わりが極めて希薄であると思われる事例については、事例選定の際に優先度を下げた。希薄であるかどうかの判断は、研究資金などの直接的投資額の大小だけではなく、制度支援や拠点形成など間接的投資を含めた多様な視点で捉えることに配慮した。

第 2-2-2-8 表 検討された事例候補と選定結果

大政策目標	選定した12事例	審議した事例候補	アンケートを基に選定した審議用事例	委員会での追加提案事例	(参考) 専門家へのアンケート結果	
					8分野別順位	政策目標別順位
〈目標1〉 飛躍知の 発見・発明	●	iPS細胞の創出			7	1
	●	脳科学の展開			19	7
		脳型情報処理システム技術			33	2
		二足歩行ロボット			-	-
〈目標2〉 科学技術の 限界突破	●	地球と宇宙の探査・観測技術			8、25	3、6
	●	X線自由電子レーザーと大型放射光施設			-	-
		ゲノム高速解析技術			18	5
〈目標3〉 環境と経済 の両立	●	次世代蓄電システム（自動車用・自然エネルギー用）			1、2	2、5
	●	希少金属回収技術			4、14、36	7、68、81
		水質浄化技術			3、5	6、9
		生物を利用した環境汚染浄化技術			12	19
		電球型蛍光灯の普及			-	-
		ヒートポンプ給湯技術			4	11
		軽水炉の高度検査技術			3	8
〈目標4〉 イノベーター 日本	●	次世代画像表示技術（有機EL）			5、11、24	10、24、29
	●	ユビキタス社会を支えるメモリと高速無線通信ネットワーク			1、13、14	1、11、12
		人工衛星搭載用電源系サブシステム			12	48
		小型・高密度メモリ技術			14	12
		高機能・多機能携帯電話技術			22	22
		RFIDの活用拡大に向けたICカード・タグ技術			4	3
		自律型情報収集・分析システム技術			6	5
		高速光通信システム			9	8
		低価格PCの普及			-	-
〈目標5〉 生涯 はつらつ 生活	●	動脈硬化予防・治療法（高脂血症治療薬）			4、5	4、5
	●	放射線によるがん治療技術（重粒子線治療）			21	18
		遠隔医療システムを実現するセンシング・情報通信技術			2	1
		食品と食事の健康機能性の解明とその応用			11	9
〈目標6〉 安全が 誇りとなる国	●	新興・再興感染症の制御技術（検知・予防・診断・治療）			1、3	1、2
	●	自然災害の減災システム技術			5	11
		生体認証を用いた個人識別セキュリティシステム			7	3
		高精度測位衛星システム(GPS)とその応用			1	5
		自動車の衝突直前予測・安全対応技術			12	7
		日本近海の海流変動の予知・予報技術			3	12

第 2-2-2-9 表 近年の顕著な成果 12 事例の概要一覧

大政策目標	事例名	概要
〈目標1〉 飛躍知の 発見・発明	【事例1】 iPS細胞の創出	世界に先駆けて、日本人によるiPS細胞作成に成功した。研究資金の集中投資とオールジャパン体制の強化により、再生医療、創薬、遺伝子治療実現への取組が加速している。
	【事例2】 脳科学の展開	脳機能の解明を基盤として、精神・神経疾患メカニズム、脳の発達要因の解明をはじめ、人体装着型ロボット技術の進展に至るまで、様々な成果が得られつつある。国は関連分野を統合し、脳科学研究として戦略的に推進している。
〈目標2〉 科学技術の 限界突破	【事例3】 地球と宇宙の探査・観測	宇宙の神秘や地球環境の変動などについて、宇宙開発技術の発達により詳細な観測などが実施されている。この成果は、国が設立した専門の拠点において、基礎研究から開発・運用までの一貫した研究開発体制から生まれたものである。
	【事例4】 X線自由電子レーザーと 大型放射光施設	極限の空間・時間分解能で物質を観察する技術が進展し、世界をリードしている。国際競争下にあるこの技術は、設備が大型で研究が長期にわたることから、国が専門の拠点での取組みを進め、様々な観察事例への支援もしている。
〈目標3〉 環境と経済 の両立	【事例5】 次世代蓄電システム (自動車用・自然エネルギー用)	環境に優しいエネルギー源である二次電池開発で、日本は世界をリードしている。国は将来戦略と重点施策を策定し、実現の加速を目指している。製品としての普及促進のために、引き続き補助金による市場形成を牽引している。
	【事例6】 希少金属回収技術	世界消費量の2～3年分に相当する日本の都市鉱山から、希少金属を回収する技術が進展している。この技術とこれを活用したリサイクル社会構築を目指し、国は戦略を基に資金提供やリサイクル事業の支援を行っている。
〈目標4〉 イノベーター 日本	【事例7】 次世代画像表示技術 (有機EL)	究極のディスプレイとして期待されている有機ELディスプレイの大型化が、近年急激に進んでいる。さらに大型化や普及を加速するため、多くの民間企業と公的研究機関による国家プロジェクトが進められている。
	【事例8】 ユビキタス社会を支えるメモリと 高速無線通信ネットワーク	メモリの高密度化や無線通信の高速化により、ユビキタス社会に向けた開発が進展している。国は、世界標準を見据えた政策・戦略の策定や国家プロジェクトにより、成果実現を推進している。
〈目標5〉 生涯 はつらつ 生活	【事例9】 動脈硬化予防・治療法 (高脂血症治療薬)	日本人のオリジナルな研究から、画期的な新薬が生み出され、世界中に普及している。国は、日本人に特化した大規模臨床試験により、製品化と市場への普及を後押しした。
	【事例10】 放射線によるがん治療技術 (重粒子線治療)	重粒子線によるがん治療の研究で、日本は世界をリードしている。この成果は、国のがん10か年総合戦略に基づく研究開発から施設の建設・臨床試験まで、長期にわたる支援から生まれたものである。
〈目標6〉 安全が 誇りとなる国	【事例11】 新興・再興感染症の制御技術 (検知・予防・診断・治療)	人類の脅威となる多くの感染症に対し、薬剤・検査試薬等の開発によりその拡大を防止している。国として、法律や検疫などの体制の整備と開発資金投資により、新たな脅威の発生を防ごうとしている。
	【事例12】 自然災害の減災システム技術	気象や地震の観測・シミュレーション技術の進歩によって、気象予測の高精度化や地震速報の迅速化などが進展している。国の責務として、より正確な情報をより速く出せるよう、専門の拠点を設立し研究開発を推進している。

第 2-2-2-10 表 前回調査で選定された32事例

(P.77 (注)参照)

インパクト実現技術の事例	
1	肺がんの早期発見に有効なヘリカルCT技術(ライフサイエンス)
2	個人の遺伝子多型等を検出する塩基配列決定技術とその応用(診断やテーラメイド医療) (ライフサイエンス)
3	高演算速度の並列コンピュータ(情報通信)
4	ITS(カーナビゲーション、VICS、ETC、交通管理等)(情報通信)
5	オゾン層を破壊せず地球温暖化への影響を考慮したフロン・ハロン代替品製造・利用技術(環境)
6	内分泌かく乱物質の人体、生体への影響解明技術(環境)
7	リチウム電池の高密度化・高寿命化技術(ナノテクノロジー・材料)
8	光触媒材料(ナノテクノロジー・材料)
9	住宅用太陽光発電システム(エネルギー)
10	天然ガス等からの液体燃料製造・利用技術(GTL、DME)(エネルギー)
11	廃自動車および廃家電の適正処理技術(製造技術)
12	レーザを利用した加工技術(製造技術)
13	局地的な気象予測技術(社会基盤)
14	地振動による構造物等の挙動シミュレーション技術(社会基盤)
15	人工衛星によるリモートセンシング技術(データの解析・利用技術)(フロンティア)
16	高性能放射光発生技術(フロンティア)
インパクト未実現技術の事例	
1	幹細胞による培養自己組織を人工臓器・組織の材料として用いる技術(ライフサイエンス)
2	遺伝子操作による耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術(ライフサイエンス)
3	垂直磁気記録技術(ハードディスクドライブ用)(情報通信)
4	ユビキタス・ネットワーク(情報通信)
5	廃棄物処理用ガス化溶融炉および灰溶融炉技術(環境)
6	二酸化炭素の分離・回収技術および隔離技術(環境)
7	カーボンナノチューブ・デバイス技術(ナノテクノロジー・材料)
8	高温超伝導材料(ナノテクノロジー・材料)
9	水素吸蔵合金(エネルギー)
10	燃料電池自動車(エネルギー)
11	マイクロリアクタによる革新的化学品製造技術(製造技術)
12	多目的看護や障害者への機能補助を行うロボット(福祉ロボット)(製造技術)
13	地震検知全国ネットワークによる地震到達前防災システム(社会基盤)
14	難分解性物質等を含む排水の高効率生物処理システム(社会基盤)
15	海底からの石油の経済的採取技術(フロンティア)
16	準天頂衛星システム(フロンティア)

第3章 近年の顕著な成果12事例の紹介

前章で選定された12の科学技術事例毎に、これまでの研究開発の経緯・ブレークスルーとそれを支えた政府投資による公的支援などについて詳細な調査を実施した。調査は、当該事例の第一人者からの聞き取りを主体とし、その他の全般的な情報や聞き取り調査を補間する情報について文献やウェブによって事実関係を充実させ、取りまとめた。

なお、政府投資による公的支援については、聞き取り調査によって得られた情報の中から、本事例の成果進展に対して役立った内容に特化して調査し、記述した。したがって、あらゆる公的支援項目を網羅しているものではないが、成果に繋がった支援内容については支援の大小に関わらず列挙することに配慮した。

以下、事例毎に、背景、研究開発経緯、成果のインパクト、政府の果たした役割についてまとめた。

1. iPS細胞の創出 (p.82)
2. 脳科学の展開 (p.93)
3. 地球と宇宙の探査・観測技術 (p.105)
4. X線自由電子レーザーと大型放射光施設 (p.116)
5. 次世代蓄電システム(自動車用・自然エネルギー用) (p.128)
6. 希少金属回収技術 (p.138)
7. 次世代画像表示技術(有機 EL) (p.151)
8. ユビキタス社会を支えるメモリと高速無線通信ネットワーク (p.161)
9. 動脈硬化予防・治療法(高脂血症治療薬) (p.175)
10. 放射線によるがん治療技術(重粒子線治療) (p.185)
11. 新興・再興感染症の制御技術(検知・予防・診断・治療) (p.193)
12. 自然災害の減災システム技術 (p.226)

また、政府投資による成果事例を科学技術に興味のある国民にも分かりやすい形で情報発信するために、近年の顕著な成果12事例の調査結果の概要を別版の「政府投資が支えた近年の科学技術成果事例集」に掲載した。

1. 事例1 iPS細胞の創出

(1)事例の背景

iPS細胞(人工多能性幹細胞:induced Pluripotent Stem cells)とは京都大学・山中らにより作成法が見出された人工の幹細胞であり、種々の組織・細胞へ分化させることが可能なため、失われたり損傷したりした組織を再生する治療法への利用に期待が持たれている。

従来、同様の多分化能をもつ細胞としては受精卵から作成されるES細胞(胚性幹細胞:Embryonic Stem cells)が知られており、ヒト由来のES細胞も作成され、組織再生への応用が期待されていた。基礎的な研究が進められていたが、ヒトの受精卵を破壊して作成されるという倫理的問題が存在するため、研究開発には慎重な扱いが求められていた。

iPS細胞は皮膚等の種々の組織の細胞にいくつかの遺伝子を導入して作成することが可能であり、ES細胞のような倫理的問題は少ないと考えられるため、大きな注目と期待を集めている。

iPS細胞は原理的には誰の細胞からでも作成することができ、自身の細胞であれば、移植による拒絶反応の問題もなく、必要な組織に分化させ自身の損傷部位を修復するということが将来的には夢ではなくなるかもしれない。

一方で種々の病気の治療薬の開発においても従来のように動物細胞ではなく、iPS細胞から誘導した種々のヒト細胞を評価に用いれば、よりヒトでの薬効や毒性を反映した結果を得ることが可能になるため、薬剤開発の効率の向上への期待も大きい。

第2-3-1-1表 幹細胞の分類

分類		含まれる幹・未分化細胞とその特性など
多能性幹細胞	胚性	すべての細胞に分化しうる全能性を有する胚性幹細胞、胚性生殖細胞
	人工多能性幹細胞(iPS)	体細胞のリプログラミングにより作成
体性幹細胞	造血系	赤血球、血小板、白血球などの血球系の細胞に分化する造血幹細胞
	血管内皮系	血管の内皮に分化する血管内皮幹・前駆細胞
	間葉系	骨、軟骨、骨格筋、腱、靱帯、間質細胞、心筋などに分化する間葉系幹細胞
	肝系	肝細胞に分化する肝幹細胞
	神経系	神経細胞(neuron)、星状膠細胞(astorocyte)、乏突起膠細胞(oligodendrocyte)に分化する神経幹・前駆細胞、グリア前駆細胞など
	生殖系	精子、卵子に分化する始原生殖細胞

出典:工業所有権情報・研修館「幹細胞、未分化細胞利用技術」(2005年3月)を基に(株)三菱総合研究所作成

(2)研究開発の経緯

①iPS細胞作成

2006年、京都大学の山中らは世界に先駆けてマウスの細胞より多能性細胞の作成に成功し、この細胞をiPS細胞(induced pluripotent stem cell)と名付けた。さらに山中らは2007年、世界に先駆けて成人の皮膚細胞よりヒトiPS細胞を作成することに成功した。同時期には米国のウィスコンシン大学の研究グループもヒトiPS細胞作成に成功している。

1999年12月以降、山中は奈良先端科学技術大学院大学にて、ES細胞の多能性維持のためにはたらく因子を調べることで、体細胞の多能性を誘導する因子の探索を試みた。当時、ES細胞の

多能性因子として *Stat3*、*Oct3/4*、*Sox2*が知られていたが、理化学研究所が提供している遺伝子データベースの解析をきっかけとして、*Nanog*、*Klf4*などを新たに同定した。2004年、山中が京都大学に移るまでには、多能性誘導因子候補は約24個に絞られていた。多能性が誘導出来たことを確かめられる実験システムとしては、ES 細胞で働く遺伝子の1つ (*Fbx15*)を取り去り、その代わりに抗生物質の耐性遺伝子を入れたマウスを作成した。このマウス由来の細胞は抗生物質とともに培養すると、通常は死滅するが、ES 細胞化すると抗生物質に耐性を示し、生存することができる。このマウスの胎仔からとった細胞に24種類の候補因子を入れ、抗生物質耐性をもつ細胞が出てくるかどうかを調べた。すると、24のうちの4因子 (*Oct3/4*、*Sox2*、*c-Myc*、*Klf4*)を入れると体細胞から多能性細胞が作成出来るということがわかった。

山中は2007年、ヒトの場合もマウスと同じ4因子 (*Oct3/4*、*Sox2*、*c-Myc*、*Klf4*)で iPS 細胞ができることを明らかにした。しかしこの方法では、iPS 細胞を入れて作ったマウスの20-40%に腫瘍ができるという問題が見られた。原因は、癌遺伝子である *c-Myc* を使用しているためと推定されている。しかし、現在では *c-Myc* なしでも非常に質の良いヒト iPS 細胞を得られるようになり、マウスで腫瘍が出来ないことも確認されている。また、当初は発癌が懸念されるレトロウイルスベクター(遺伝子導入の際、遺伝子を載せる運び役としてレトロウイルスを用いたもの)を使用していたが、改良され発癌の懸念の無いプラスミドベクター(遺伝子導入の際、遺伝子を載せる乗り物としてウイルスではない環状 DNA を用いたもの)を用いる改良方法も見出された。

第2-3-1-2表 幹細胞研究の経緯

	経緯
1981年	マウスの ES 細胞の作成に成功(英国)
1996年	クローン羊 ドリー誕生(英国)
1998年	ウィスコンシン大学 トムソンらがヒト ES 細胞の作成に成功(米国)
2003年	京都大学 中辻らが国内初 ヒト ES 細胞の作成に成功
2006年	京都大学 山中らがマウス iPS 細胞の作成に成功
2007年11月	京都大学 山中らが成人の細胞よりヒト iPS 細胞の作成に成功
2007年11月	ウィスコンシン大学 トムソンらが胎児・新生児の細胞よりヒト iPS 細胞の作成に成功

出典:(株)三菱総合研究所作成

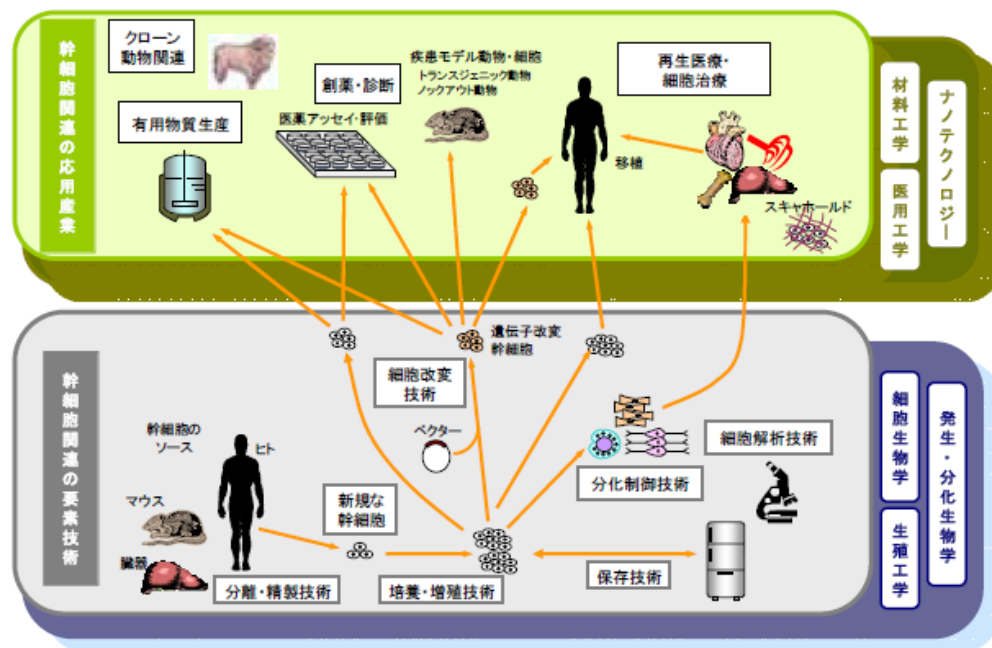
(2) 周辺の技術開発

iPS 細胞の研究開発の歴史は短い、ES 細胞やその他の幹細胞の研究開発の歴史は長く、そこで培われた幹細胞の分離・精製、培養・増殖、分化制御、細胞改変等の技術開発は iPS 細胞に対しても利用できる部分が多い。

また、iPS 細胞の応用分野として想定される再生医療・細胞治療、創薬・診断、有用物質生産等も、既に ES 細胞やその他の幹細胞の応用分野としてかなり開発が進んでいる。

iPS 細胞の研究にも、このような幹細胞関連技術の成果をかなりの程度活用できるということは注目される。

第2-3-1-3 図 幹細胞関連技術の技術俯瞰図



出典：特許庁「平成19年度特許出願技術動向調査報告書 幹細胞関連技術」(2008年4月)

(3) 科学技術成果のインパクト

iPS 細胞を用いた以下の技術の実用化に対する期待は大きく、現在、実用化に向けた研究が進んでいる。

- ・ 治療薬を評価する際に、動物組織や動物細胞を用いた評価を行うが、これをヒト iPS 細胞から分化させて作成したヒト組織を用いて評価するという創薬への応用
- ・ 組織修復や疾患組織の治療を必要とする患者へ、患者本人の iPS 細胞を作成して本人の組織・臓器を再生させて治療する再生医療への応用
- ・ ヒト iPS 細胞の種々のタイプをコレクションした iPS 細胞バンクを設立し、いつでも多くの患者に幅広く適応できるように準備すること

ただし、iPS 細胞の応用開発は、緒に就いたばかりであり、以下は現時点での動向と将来的な可能性を示すこととする。

iPS 細胞は、以下に示すように、社会、経済、産業、国民生活に将来的に大きなインパクトを与えられられる。

①創薬への応用

- ・ 薬剤候補化合物の評価への利用とそのメリット

iPS 細胞の実用化について、最も早期に実用化が期待されているのは創薬研究、開発における活用である。

薬剤候補化合物を評価する場合、薬剤の有効性をヒトの細胞を用いて評価することが最良の方法であるが、今まではヒトの細胞やヒト疾患モデル細胞などの入手は限られていたため、多くはマウ

スなどでの疾患モデル動物において評価されてきた。しかしながら、動物細胞で認められていた薬効がヒトではみられない、或いは動物では認められなかった毒性がヒトに於いては発現するなど、種間の有効性の差異がしばしばあるためその信頼性に課題があり、結果研究開発の効率に影響を受けてきた。

今後、疾患患者由来の iPS 細胞から分化させたヒトの疾患モデル細胞を用いるなど、iPS 細胞を用いることによって、最初の評価からヒトにおける薬効を見ることが出来、脳神経系など通常では採取不可能な部位の細胞も評価に利用できる。iPS 細胞の利用により、創薬のスピードが速まるとともにヒト細胞における精度の高い評価が可能となり、副作用などの情報も得られると予想される。

・ 具体的な研究事例と個の治療への応用可能性

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託事業として、iPS 細胞から作成したヒト心筋細胞を用いて毒性の評価ツールの開発研究が2008年10月よりスタートした。これは、現行のNEDO プロジェクトで開発した心筋細胞の拍動を測定する技術を応用し、iPS 細胞を用いた心毒性初期評価技術確立を目指すものである。

(独)医薬基盤研究所は、種々の疾患患者から iPS 細胞を作成し、薬剤候補化合物の毒性、代謝等の評価に必要な肝臓細胞などへと分化させる計画を立てている。これは、種々の性別、年齢、細胞腫、遺伝的背景の iPS 細胞および iPS 細胞由来の分化細胞を準備しておき、創薬応用へ向けた技術開発を行うものである。特に、薬剤候補化合物のスクリーニング時点で詳細な毒性評価が可能となり、医薬品の安全性向上への寄与が期待される。

このような一般創薬への応用のみならず、将来的には個々の患者由来の iPS 細胞を分化させ、患者毎の体質を鑑みた薬剤の効果や毒性を投与前にチェックすることが出来るので、個人別投薬管理などきめ細かい個の治療へも応用され、投与量の最適化、副作用の事前回避なども可能となると期待されている。

②再生医療・細胞医療への応用

iPS 細胞の応用の中で、将来的には再生医療への応用は期待が大きい。現在は治療用の細胞の入手が困難であり、細胞治療や再生医療は思うように進んでいない。そこで、多分化能を生かし、再生医療のために iPS 細胞を作成し、必要とする細胞・組織へ分化させ、移植治療へ応用できるといふ期待である。

・ 血液系細胞作成、心筋梗塞治療への応用

東京大学の中内啓光らの研究チームは、ヒト皮膚細胞から作成した iPS 細胞を、増殖因子添加、骨髄細胞との共培養で、巨核球を経て血小板へ分化させることに成功している。この知見を基にすれば、白血球や赤血球等の血液系細胞作成も期待される。

同じく中内啓光らは、マウスの iPS 細胞から膵臓の細胞を作成し、糖尿病の治療効果を確認することにも成功し、血糖値を下げるインスリンを作ることができない重症患者向けの治療法開発を目指している。

大阪大学では、京都大学・東京女子医科大学との共同研究で、マウス繊維芽細胞由来の iPS 細胞を分化させて心筋細胞を作成し、これをシート状に培養する技術により心筋シートを構築した。マウス左前下行枝を結紮して人工的に作った心筋梗塞モデルの梗塞部位へ、この心筋シートを移植したところ、心機能障害の改善及び心臓左室拡大の抑制が認められたことが報告された。

・ 細胞バンク構築とその利用

iPS 細胞の再生医療・細胞医療への応用には、患者自身の細胞を用いる場合と、患者以外の細胞を利用する場合が考えられる。

患者以外の細胞を利用する場合、細胞バンクを構築することによる汎用化が考えられる。

ヒトの細胞表面には、個人に特有な組織適合性抗原 (HLA) があり、移植の際この型を合わせないと免疫的に拒絶される。そこで、多数の種類の iPS 細胞を用意して、免疫抗原の型を合わせることで、他人の細胞から作られた iPS 細胞を用いたとしても拒絶される可能性を最低限に抑えて、再生医療としての移植治療を可能にすることが試みられている。京都大学再生医科学研究所・中辻憲夫らの計算によると、この組織適合性抗原の型が異なる iPS 細胞を約170種類用意すると、これで日本人の8割をカバーすることが出来るとのことである。。

この細胞バンクを利用した疾患治療は、慶応大学・岡野栄之によって提唱されている。救急救命の細胞治療、例えば脊髄損傷の治療のように、神経細胞を移植するのは損傷から9日目ごろが最適とされるような場合、自分の iPS 細胞を作成していると間に合わない。そこで、このような場合には、上記の iPS 細胞バンクの中で免疫拒絶をされない型の iPS 細胞由来の神経細胞を移植する。このためには脊髄損傷治療用の安全性を確保した、iPS 細胞オリジンの神経細胞バンクを予め構築しておくことが適当と考えられる。

現状の一例として、(独)産業技術総合研究所の大串始は、抜歯した「親知らず」に含まれる間葉系幹細胞から iPS 細胞を作成することに成功している。「親知らず」は捨てられていたので、iPS 細胞バンクを作成するための細胞資源として有望と考えられている。

以上のような iPS 細胞バンクおよび iPS 細胞から分化させた治療用細胞バンクの考え方は、自己細胞治療から他者由来の細胞治療へ拡大して、比較的頻繁に起こりうる救急救命治療への適応が期待される。

③先天性疾患、難病の治療

・ パーキンソン病、血友病、先天性免疫不全症など遺伝子治療への利用

iPS 細胞は遺伝子治療分野へも新たな扉を開くものと考えられる。即ち、先天性疾患患者、遺伝的難病患者の細胞から iPS 細胞を構築し、患者が持つ遺伝子損傷部位を DNA レベルで正常に修復した後分化させ、体内へ戻すことにより正常に機能する組織・臓器を再生させる方法である。パーキンソン病、血友病、先天性免疫不全症などが対象と考えられている。

既に、米国ハーバード大学などの研究チームは、筋ジストロフィー、ダウン症、糖尿病、パーキンソン病をはじめ10種類の遺伝子疾患患者の皮膚或いは骨髄細胞を利用し、iPS 細胞を構築したと報告した。これとは別のハーバード大学の研究チームは、筋萎縮性側索硬化症 (ALS) の高齢患者から、同様の目的で iPS 細胞の構築を報告している。これら疾患患者から作成された iPS 細胞は、当該疾患の研究への貢献や、同時に治療法や治療薬の研究開発への利用にも期待が大きい。

・ 脊髄損傷への利用

我が国では、京都大学と慶応大学との共同研究で、ヒト iPS 細胞から分化させた神経細胞を脊髄損傷後9日目のマウスに移植すると、損傷後無処置のマウスに比べて運動能力の有意な回復が認められたと2009年2月4日慶応大学シンポジウムで報告された。これは、マウスにおける予備的実験ではあるが、疾患モデルで有効であることが初めて示された例である。

(4) 政府の果たした役割

iPS 細胞の研究において、政府が果たしている役割は以下である。

- ・ iPS 細胞を含む幹細胞関連技術開発・再生医療による治療技術開発への積極的な公的投資
- ・ 「先端医療開発特区」での開発促進
- ・ iPS に関する知的財産戦略推進
- ・ 国際研究協力

① iPS 細胞関連研究への積極的な公的投資

iPS 細胞作成成功以前も含め、政府の支援は以下のように行われた。

第2-3-1-4表 iPS 細胞に係る政府の主な支援策

分類	年月	政府の支援策(◎(赤字)は研究成果)
iPS 細胞誕生まで	1997年～	文部科学省 科学研究費
	2003年～	(独)科学技術振興機構(JST) CREST 研究費
	2005年～	(独)新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO) 研究費
	2006年	◎ マウスの iPS 細胞作成に成功
	2006年～	(独)医薬基盤研究所 研究費
	2007年～	文部科学省 特別推進研究
	2007年11月	◎ ヒトの iPS 細胞作成に成功
iPS 細胞誕生後	2008年1月	総合科学技術会議 iPS 細胞研究 WG
		(独)産業技術総合研究所、NEDO(経済産業省)との共同研究開始
	2008年2月	JST iPS 細胞関連3プロジェクト開始
	2008年4月	文部科学省 再生医療実現化プロジェクト (20億円プラス補正予算15億円)
	2008年11月	スーパー特区採択決定

出典：総合科学技術会議（第78回）資料3「iPS細胞が作る新しい医学」
<http://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihu78/siryo3-2.pdf> を基に(株)三菱総合研究所作成

iPS 細胞作成成功以後の主な動向を省庁別に示すと、以下のようになる。

総合科学技術会議は、2008年7月3日に iPS 細胞研究の全体的な推進方策を取りまとめた。iPS 細胞研究者層の拡大と iPS 細胞の迅速な配付、包括的な研究組織の立ち上げ、産業化に向けた起業支援、国際的な知的財産戦略等についての積極的な方針を示しており、2009年度においても、引き続き強力に研究を推進する方針である。また、「革新的技術戦略」(総合科学技術会議、2008年5月19日決定)の中でも、重点的に推進すべき「革新的技術」として iPS 細胞研究関連の2つの技術が挙げられている。

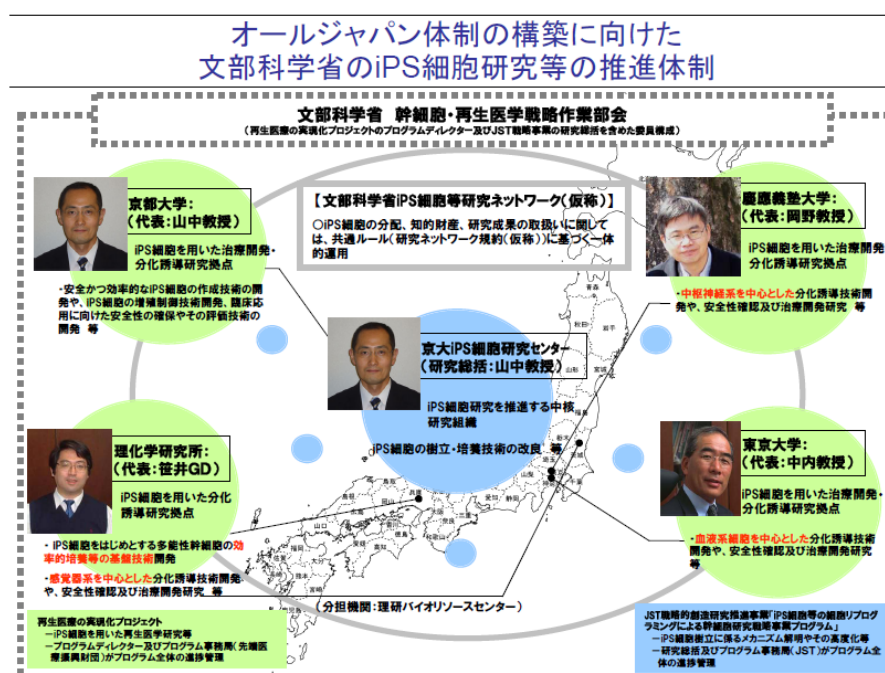
文部科学省は、2007年内には iPS 細胞研究の方針を議論する作業部会を立ち上げた。当時、2008年度の予算要求は既に終わっていたが、既存プロジェクトや(独)科学技術振興機構(JST)の

研究事業から2008年度にはiPS細胞研究に資金を投入する計画を立てた。具体的には、JSTの戦略的創造推進事業(CREST事業)の「iPS細胞等の細胞リプログラミングによる幹細胞研究戦略事業プログラム」に10億円、科学研究費補助金の特別推進研究に2億円、「再生医療の実現化プロジェクト」に10億円を投資した。

2009年度には、「再生医療の実現化プロジェクト」の一環としてiPS細胞関連施策の予算を36億5000万円要求した。増額分でiPS細胞等研究拠点に指定されている京都大学、慶応義塾大学、東京大学、理化学研究所を中心とした研究機関への支援を拡充させるとともに、知財戦略を立て、知財を活用する体制をつくる。iPS細胞等研究拠点への支援拡充では、細胞の標準化、細胞誘導の技術講習会、培養トレーニングプログラムの実施、疾患特異的iPS細胞の樹立・提供を進める。知財関連では、海外を含めiPS細胞関連の知財について弁理士に相談できるようにする。

以上のような流れを受けて、現在はiPS細胞の基礎研究および産業への利用を促進するため、「オールジャパン体制」の研究体制が構築されている(第2-3-1-5図)。

第2-3-1-5図 オールジャパン体制の構築に向けた文部科学省のiPS細胞研究等の推進体制



出典：文部科学省研究振興局ライフサイエンス課「平成20年度再生医療の実現化プロジェクト(ヒトiPS細胞等研究拠点整備事業)採択結果について」(2008年3月6日)

経済産業省も2007年度以降、既存のプロジェクトの中で、iPS細胞の効率的な作製と、創薬ツールとしての使用に関する研究を開始していた。2009年度には「幹細胞産業応用促進基盤技術開発」として新規に10億円が投資される。経済産業省からの資金をもとに、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構では「iPS細胞等幹細胞産業応用促進基盤技術開発」プロジェクトを開始する。

厚生労働省は2008年度にiPS細胞等創薬基盤の整備のため9.1億円を投資しており、iPS細胞研究を加速させるための超高速のシーケンサー等の研究機器を早急に整備する必要がある研究施設に対して研究機器の整備を実施している。

なお、アメリカ合衆国では2009年3月9日にオバマ大統領がES細胞研究への政府助成を解禁する大統領令に署名した。ES細胞研究で得た研究の蓄積はiPS細胞研究においても有用である。文部科学省の専門委員会は3月17日、ES細胞を使った研究への国の事前審査をやめ、届け出制に変更することで合意した。このように、規制緩和の点からもiPS細胞研究は支援されている。

② 「先端医療開発特区」での開発促進

「先端医療開発特区」は、最先端の再生医療、医薬品・医療機器について、重点分野を設定した上で、先端医療研究拠点を中核とした他の研究機関や企業との複合体を選定し、研究資金の特例や規制を、担当する厚生労働省等との並行協議等を試行的に運用し、より開発の促進を図ることを目的として、2008年5月に内閣府、文部科学省、厚生労働省、経済産業省により創設された。iPS細胞応用は重点5分野の1つとされた。

2008年11月 iPS細胞応用として2テーマが採択され、今後の開発促進が期待されている。

第2-3-1-6図 「先端医療開発特区」におけるiPS細胞プロジェクトの採択例



注: iPS細胞応用の採択課題として、他に「ヒトiPS細胞を用いた新規in vitro毒性評価系の構築」((独)医薬基盤研究所 水口裕之プロジェクトリーダー)がある。

出典: 内閣府 先端医療開発特区 HP「先端医療開発特区(スーパー特区)の課題の採択について」

③ 知的財産戦略

内閣府の知的財産本部が2008年6月に発表した知的財産推進計画では、iPS細胞の研究・事業化を加速するための総合的支援体制を構築することが「重点項目」として挙げられている。推進計画は、「人類未踏の基本特許を押さえ、革新的技術開発を戦略的に推進する」という方針を明確に打ち出した。と同時に、基本特許を国際的に事業化する関連技術や応用技術についても知的財産を確保する必要がある、と指摘している。

京都大学は、2008年4月に産官学連携センター内にiPS細胞研究知財支援特別分野を設置し、その後2008年8月にiPS細胞研究センター(CiRA)の研究戦略本部内に知的財産管理室を設置して、iPS細胞に特化した知財管理に取り組み始めた。

また、京都大学で取得する iPS 細胞の作成方法に関する特許の知的財産を管理し、これを用いて医療・医薬の開発とその事業化を目指す企業に対して特許発明等を実施する権利を許諾する目的で、iPS アカデミアジャパン(株)が2008年6月に設立された。大学等の非営利機関には非独占のライセンスを原則として無償で、企業等の営利機関に対しては非独占ライセンスを有償で供与する方針で、現在までに10社以上の企業とその交渉に入っている。

既に「オールジャパン体制」での研究が推進されているため、iPS 細胞の知的財産戦略も研究戦略と同様に重要な要素であるといえる。

④ 国際研究協力

知財権取得で国際的な競争がある中での国際協力関係を良好に構築することは、現時点では多くの障壁がある。このような状況の中で、京都大学 iPS 細胞研究センター(CiRA)は、米国企業ノボセル社、カナダ・トロント大学と研究協力提携を開始している。

また、JST は、2008年11月に米国カリフォルニア再生医療機構(CIRM)との間で幹細胞に関する研究促進に係る協力協定を締結した。今後本協定に基づき、セミナーの開催や研究者の交流、国際シンポジウム等の開催によるさまざまな国際協力研究活動の支援を行なう。また、iPS 細胞等研究を担う若手研究者の研究合宿の開催や、iPS 細胞研究の情報共有・発信などを通じて、研究交流を行う環境の整備を推進する予定である。

(5) 今後の展開

以下のような課題が存在するが、研究開発、臨床応用の進展が期待される。

① 基礎研究の推進

・ iPS 細胞樹立のメカニズム解明等の基礎研究推進

iPS 細胞が樹立されるメカニズム研究には、細胞のリプログラミング、関連遺伝子関与の仕組み、分化能力の異なる細胞出現といった点が含まれ、一層の基礎研究が必要である。

これらの基礎研究により、iPS 細胞の定義の明確化が可能になるとともに、発生生物学との連携、細胞の分化や組織構築の研究も推進される。

・ ES細胞や体性幹細胞研究との連携・融合

iPS細胞の利用研究を効率的に進める上において、先行して研究が進んでいる他の幹細胞研究との連携・融合が非常に重要である。iPS細胞とほぼ同等の特性を有するES細胞は、既に知見の蓄積が多く、その活用はiPS細胞研究の先導的役割を果たす臨床応用技術開発における安全性確保などにも共通点が多く、今後とも融合的な研究開発が必要である。

② 臨床応用へのロードマップ、研究戦略

・ 安全な iPS 細胞の樹立

iPS細胞の樹立方法の改良を行い、腫瘍化の危険性のないiPS細胞を樹立することが重要である。さらに、iPS細胞を目的とする細胞・組織に分化誘導する技術及び分化誘導して得た目的細胞の特性、品質や純度を確認する技術の開発が重要である。

・ 再生医療への応用に向けた検討

自己由来細胞か、同種由来細胞か、同種由来細胞の免疫学的適合性の程度、さらにどのレベ

ルまで安全性が確認されれば、臨床応用を始めるかについて、必要性和安全性のバランスから判断する必要がある

- ・ **細胞株の標準化**

細胞株ごとの違いが研究を混乱させる恐れがあるので、スタンダードとなるiPS細胞が必要であり、細胞株の標準化が必要である。将来的には、データを集積し、国際標準化を目指すべきである。

- ・ **再生医療用細胞バンクの設立**

安全性が確保されたiPS細胞が得られる状況になれば、iPS細胞を用いたセミオーダーメイド再生医療を実現するため、iPS細胞の公的細胞バンクの設立検討が望まれる。

③ 疾患研究、創薬研究への利用

- ・ **疾患モデル動物、疾患モデル細胞の作成**

患者iPS細胞から誘導した細胞を動物に移植したヒト化疾患モデル動物作成、iPS細胞を用いた疾病モデル細胞作成により、疾病の病態解明や薬剤の有効性や毒性の評価系の開発が期待される。

- ・ **倫理的問題への対応**

患者から採取した組織活用、患者由来の iPS 細胞活用等については、個人情報保護、インフォームドコンセント等の倫理面に対応する必要がある。

④ その他

- ・ **産学官の連携による産業化促進**

基礎研究から臨床研究、さらに事業化を促進するためには、研究の初期段階から大学や研究機関と企業が連携するといった産学官連携、橋渡し研究の促進が望まれる。

- ・ **知的財産戦略の検討**

iPS細胞の作成、応用においては、知的財産の獲得、利用が必須であり、研究開発・事業化のインセンティブ確保、潜在利用者の幅広い利用性確保といった視点でのバランスのとれた知的財産戦略、そのための制度的支援が必要となる。

- ・ **国際競争と国際協力の両立**

iPS細胞の研究開発、産業化に激しい国際競争が繰り広げられているが、早期の実用化、途上国等を含めた幅広い利用といった点で、国際協力の視点での取り組みも必要になる。

(6) 参考文献

- ・ 文部科学省 再生医療の実現化プロジェクト第I期(H15～H19)
<http://www.stemcellproject.mext.go.jp/01/index.html>
- ・ (独) 科学技術振興機構 多能性幹細胞研究のインパクト-iPS細胞研究の今後-
<http://www.jst.go.jp/kisoken/iPS/sympo1/>
- ・ 経済産業省 iPS細胞研究に対する支援策について
<http://www8.cao.go.jp/cstp/project/ips/haihu1/siryo7.pdf>
- ・ 鷲見芳彦 iPS細胞に関する研究動向と課題、科学技術動向 2009 No.96
- ・ タカラバイオ ニュースリリース、ヒト iPS 細胞作製用試薬を新発売
<http://www.takara-bio.co.jp/news/2009/03/03.htm>

- ・ 経済産業省 iPS 細胞の産業応用の促進に向けて
<http://www8.cao.go.jp/cstp/project/ips/haihu4/siryo6.pdf>
- ・ 総合科学技術会議 iPS細胞研究の推進について(第一次とりまとめ) (2008年7月3日)
<http://www8.cao.go.jp/cstp/project/ips/haihu9/torimatome1.pdf>
- ・ 厚生労働省 平成20年度厚生労働省補正予算 iPS 細胞等創薬基盤の整備
<http://www.mhlw.go.jp/wp/yosan/yosan/08hosei/dl/gaiyou.pdf>
- ・ 厚生労働省 平成20年度 iPS 細胞等創薬基盤整備事業
<http://www.mhlw.go.jp/topics/2008/12/tp1210-2.html>
- ・ 日経バイオ年鑑2009
- ・ (独)医薬基盤研究所 お知らせ ヒトiPS細胞の提供(分譲)を開始します!! (2009年3月9日)
<http://www.nibio.go.jp/cgi-bin/new/view.cgi?no=513>
- ・ 総合科学技術会議 第78回 資料3 iPS 細胞が作る新しい医学
<http://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihu78/siryo3-2.pdf>
- ・ 総合科学技術会議 基本政策推進専門調査会 iPS 細胞研究 WG iPS 細胞研究の推進について(第一次とりまとめ) (2008年7月3日)
<http://www8.cao.go.jp/cstp/project/ips/haihu9/torimatome1.pdf>
<http://www8.cao.go.jp/cstp/project/ips/haihu9/torimatome2.pdf>
<http://www8.cao.go.jp/cstp/project/ips/haihu9/torimatome3.pdf>
- ・ 文部科学省 iPS 細胞(人工多能性幹細胞)研究等の加速に向けた総合戦略 改訂版
<http://www.lifescience.mext.go.jp/download/47th/47-02.pdf>
- ・ 中内啓光 ヒトiPS細胞等を用いた次世代遺伝子・細胞療法の開発 ヒトiPS細胞等研究拠点整備事業・東京大学 <http://www.lifescience.mext.go.jp/download/sr2/sr2-4.pdf>
- ・ 文部科学省研究振興局ライフサイエンス課 平成20年度再生医療の実現化プロジェクト(ヒトiPS 細胞等研究拠点整備事業)採択結果について(2008年3月6日)
<http://www.lifescience.mext.go.jp/download/sr2/sr2-1.pdf>

2. 事例2 脳科学の展開

(1) 事例の背景

「脳」は人間が人間らしく生きるための根幹をなす「心」の基盤であり、古来より人間の最大の関心の一つであるため、脳神経科学などの自然科学的アプローチ、情報科学や認知科学・心理学等の社会科学的アプローチを用いて、さまざまな研究が行われている。

米国では、1990年からの10年を「脳の10年 (Decade of the Brain)」と名付け、欧州もそれに追随し、近年では多国間の共同研究開発体制を構築している。また、21世紀は「脳の世紀」と呼ばれており、脳科学に対する世界の注目度は増すばかりである。

脳科学研究の意義・重要性は「科学的意義」と「社会的意義」の大きく2つに分けられる。それぞれの意義の内容を第2-3-2-1表に示す。

第2-3-2-1表 脳科学研究の意義

科学的意義	社会的意義
<ul style="list-style-type: none">・ 人間の心の働き(認知、行動、記憶、思考、情動、意志など)を生み出す脳の構造と機能を明らかにすることを通して、真に人間を理解するための科学的基盤を与える・ 脳科学研究の波及効果は生物学や医学、薬学、化学、工学、情報学等の多くの領域に広く及び、これまで専門分化して高度な発展を遂げてきた関連諸領域の成果を融合・活用していくためのプラットフォームを築く役割を果たすことが期待される・ 複雑な生体システムの一つである、脳機能を効果的に解明するためには、従来の要素還元的な研究手法に加えて、要素間の「相互依存・相互作用による全体性」に合致した新しい学際的・融合的な学問のスタイルが必要とされる	<ul style="list-style-type: none">・ 脳科学研究は、少子高齢化社会を迎える我が国の医療・福祉の向上や、将来的には、乳幼児保育や教育が直面している問題等へ適切な助言を与える・ 脳科学研究の成果は、例えば革新的な情報処理・操作システム、介護支援ロボット、産業ロボット等の開発を可能とする・ 脳科学研究の成果に立脚した、人間と環境との相互作用に基づく新しい自然科学的人間観の構築が期待される

出典:「長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想および推進方策について(第1次答申案)」に基づいて(株)三菱総合研究所にて作成

(2) 研究開発の経緯

1990年代、日本の脳科学研究は、個人レベルでは成果を上げていたものの、「Decade of Brain (脳の10年)」と定めて重点投資を決めた米国と比較すると、国全体としての研究体制や総合力が十分ではなかった。そこで、1997年に科学技術会議(当時)ライフサイエンス部会脳科学委員会が「脳に関する研究開発についての長期的な考え方」で、脳科学研究の研究開発ロードマップを示した。当報告では、「脳を知る」、「脳を守る」、「脳を創る」の3領域が設定された。ロードマップには

2002年から「脳を育む」が追加された。以下では、この4つの領域に沿って、近年の研究開発経緯を整理する。

① 脳を知る

「脳を知る」領域は、ハードウェアとしての脳がどのように形成され、ソフトウェアとしての機能がどのように発現するかを解明するものである。脳科学研究の基礎となる領域であり、その他の領域の発展に大きく寄与する。具体的には、「脳の発生分化機構」「神経回路網の構造、機能と形成機構」「脳の高次機能（記憶、学習、意識、情動、認識と生体リズム等）」「コミュニケーションの脳機能」の解明などが研究対象となる。

近年の世界の研究開発動向を第2-3-2-2表に示す。

第2-3-2-2表 「脳を知る」領域の研究開発動向

- 脳の領域化を制御するシグナルとその伝達経路が解明されつつある。
- 神経幹細胞の存在とその分化制御、神経細胞移動の研究が進んだ。
- 哺乳類成体脳のニューロン新生・細胞移動のメカニズムの一端が明らかとなった。
- 神経軸索の伸張・反撥、シナプス形成、再生阻害等に関与する分子の実態と機能が明らかになりつつある。
- 神経細胞の情報伝達分子とシナプス可塑性や学習・記憶機能との関連が明らかになった。
- 分子の細胞内運搬、集積、維持などの細胞内分子輸送のメカニズムも解明されつつある。
- 細胞内での機能分子可視化技術が進歩したことによって、受容体活性化による細胞内カルシウムの動態及びその情報伝達系の機構が急速に解明されつつある。
- 感覚・記憶・学習・認知といった基礎的機能を担う神経回路の動作様式が明らかになりつつある。
- 特徴抽出機構（対象を区別できるような情報を観測パターンから取り出す処理）、運動の計画の実行の情報処理機構が明らかになってきた。
- fMRI 法等の機能イメージング法のデータ解析手続きの標準化が進み、新規行動課題の開発が容易になった。機能モジュールを構成する構造（コラム構造）や、連合野等の各脳部位の働きが具体的課題に即して明らかになってきている。
- 高次の学習・記憶に関して、システムの大域構造が明らかになってきた。
- 運動・行動の選択、意思決定のメカニズム、言語野の働き等の解明も進んでいる。

出典：「脳科学研究ルネッサンス」2007を基に(株)三菱総合研究所にて作成

「脳を知る」領域での日本の代表的な研究成果としては、狩野方伸（東京大学）のシナプス可塑性（ニューロンの活動に依存してシナプスの伝わりやすさが変化する現象）に関する研究があげられる。シナプス可塑性は、発達期の脳におけるニューロンネットワークの形成や成熟動物における学習、記憶に関与していると考えられているが、その機構については不明の点が多く残されている。狩野は、脳神経系の神経回路形成におけるニューロンやシナプスの動態、神経伝達およびその調節のメカニズムを脳スライス、培養神経細胞、丸ごとの動物脳などを対象にし、主として電気生理学および光学的測定法を駆使して探求している。

脳科学研究においては、脳を見るためのイメージング法が重要であり、日本からも多くの研究成果が生まれている。人間の脳内の活動を非侵襲的に評価することができ、脳の高次機能を研究するのに欠かせない機能的磁気共鳴描画法 (functional magnetic resonance imaging: fMRI) の原理である BOLD (Blood Oxygen Level Dependent) 法を、1990年に小川誠二 (当時ベル研究所) が発見している。fMRI を利用した研究では、独立行政法人 放射線医学総合研究所分子イメージング研究センター分子神経イメージング研究グループの「妬み」に関する研究などが有名で、人が妬みを持つ感情と他人の不幸を喜ぶ感情に関する脳内のメカニズムが脳科学的に証明されている。

イメージング法では、独立行政法人 理化学研究所の脳科学総合研究センター (Brain Science Institute: BSI) の宮脇敦史が、生きた細胞のイメージングに利用されて現在世界中の研究室で欠かせない研究ツールとなっている、さまざまな蛍光タンパク質を開発したことも重要な成果として挙げられる。宮脇はクラゲやサンゴ由来の蛍光タンパク質を基に「Venus」や「Kaede」、「Dronpa」といったさまざまな蛍光タンパク質を開発した。これにより生きたままリアルタイムで、個々の神経細胞などの中で起こる事象を、時間的・空間的に可視化することが可能になった。

また、生体組織に透過性が高い近赤外光を頭部に照射し、その反射光を測定することによって脳の血流量変化を捉える近赤外分光法 (NIRS: The Near InfraRed Spectrometer) は、多チャンネルに応用することにより脳の血流量変化の分布を画像化して表示する有力なイメージング法となる。この多チャンネル NIRS 技術は1995年に (株) 日立製作所の中央研究所で開発され、「光トポグラフィ」と命名された (登録商標)。測定時に頭部を固定する必要が無いため、乳幼児やその他病人などこれまで測定困難であった対象の脳研究を可能とし、脳科学に貢献している。

② 脳を守る

「脳を守る」領域では、脳の病気の克服を目指し、精神・神経疾患等のメカニズムやその制御法を解明することを目的としている。具体的には、「脳の発達障害の制御」「脳の老化の制御」「神経・精神障害の機構の解明」「神経・精神障害の修復法の開発」などが研究課題として挙げられる。

近年の世界の研究開発動向を第2-3-2-3表に示す。

第2-3-2-3表 「脳を守る」領域の研究開発動向

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">● 脳イメージング技術の著しい発展によって、責任病巣 (各種脳障害の原因となる損傷部位) の同定とその意義付けに関する研究が非常に進んだ。● 孤発性アルツハイマー病の関連遺伝子の同定研究が世界的に進む中で、我が国の研究が大きく貢献した。一方、正常老化の研究は世界的にまだ初期段階にある。● パーキンソン病や小脳脊髄変性症の病因・病態解明及び治療薬開発研究が大きく進展したが、我が国の研究が多大な貢献をした。● うつ病、統合失調症、てんかん、プリオン病、などの病因・病態解明が目覚しく進歩した。● 多発性硬化症など、免疫現象を基礎とする病態の解明と治療法の開発が大きく進んだ。● 脳虚血に伴う遺伝子の発現や細胞死のメカニズムの知見に基づいて脳梗塞への対応策が進歩した。● リハビリテーションの原理も、脳の可塑性理論を基に大きく発展した。 |
|---|

出典: 「脳科学研究ルネッサンス」2007を基に (株) 三菱総合研究所にて作成

「脳を守る」領域での日本の代表的な研究成果としては、順天堂大学の水野美邦による、パーキンソン病に関する研究があげられる。水野は、清水信義（慶応大学）のグループとの共同研究において、常染色体性劣性遺伝の若年性パーキンソン病の原因遺伝子（Parkin 遺伝子）のクローニングに成功し、パーキンソン病の病因解明に大きく貢献した。

その他、アルツハイマーに関する研究においても（独）理化学研究所により、アミロイドβペプチドの分解を促進することにより、アルツハイマー病の新たな治療標的が発見されるなどの成果も生まれている。

③ 脳を創る

「脳を創る」領域では、脳内情報処理の解明とBMI (Brain Machine Interface) 技術の開発、及び脳神経倫理研究の基盤整備などを目的としている。具体的には、「脳型デバイス・アーキテクチャ（学習、連想記憶等）」や「情報生成処理（認知認識、運動計画、思考、言語、評価、記憶等）システム」の構築、「人工感覚器の開発」などが研究課題としてあげられる。

近年の世界の研究開発動向を第2-3-2-4表に示す。

第2-3-2-4表 「脳に学ぶ」領域の研究開発動向

- 計算論的神経科学が進展し、小脳の内部モデル理論、大脳皮質の確率推論、大脳基底核の強化学習など、脳機構を定量的にモデル化し予測することが可能になると共に、実験脳科学との融合が急速に進んだ。
- 脳信号処理の分野では独立成分分析などの新しい脳に学ぶ手法の開発が進んだ。
- 数理脳科学が発展し、機械学習や人工知能分野に大きな影響を与え、分野融合が進んでいる。
- 感覚運動機能を持ち、模倣し、学習するロボットなどの設計、試作が進み、脳科学とロボット工学の融合領域を生み出した。パワーアシストスーツなどの開発では、我が国が世界をリードしている。
- 脳の学習原理の理論的な解明と、そのロボットへの応用が進んだ。
- 脳型チップの開発は、人工網膜チップ（ビジョンチップ）の開発などとして産業化され、経済波及効果を生み出し社会に影響を与えた。

出典：「脳科学研究ルネッサンス」2007

「脳を創る」領域での日本の代表的な研究成果としては（株）国際電気通信基礎技術研究所・脳情報研究所の川人光男による、ロボット・ヒューマノイド研究などがあげられる。川人は、1996年～2001年の独立行政法人 科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業 ERATO（Exploratory Research for Advanced Technology）型研究において、理論を計算の観点から実証するため、ヒューマノイドロボットを開発し、見まね学習、前庭動眼反射（視覚像がぶれないように、頭の動きに対応して眼球が反対方向に動く反射）、平滑性の眼球運動などの実装に成功した。さらに、階層強化学習の実証として、起き上がりロボットを開発した。これらの研究は、脳の仕組み解明に新たなパラダイムを与えるだけでなく、その成果が、リハビリテーションやロボット制御といったさまざまな応用に繋がることが期待されている。

④ 脳を育む

「脳を育む」領域では、健康で活力にあふれた脳を発達、成長させ、さらに維持するメカニズムの解明をめざすことを目的としている。具体的には、「ヒトの感覚・運動・認知・行動系を含めた学習に関与する脳機能」や「ヒトに特有な言語などの高次脳機能の発達メカニズムの解明」、さらに「精神・神経の障害からの機能回復の機序解明」を目指している。

近年の世界の研究開発動向を第2-3-2-5表に示す。

第2-3-2-5表 「脳を育む」領域の研究開発動向

- 神経系の細胞分化制御における DNA メチル化等、エピジェネティクス(DNA の塩基配列の変化なしに、遺伝的かつ可逆的に遺伝子機能の発現が変化する現象)のメカニズムが明らかとなってきた。
- 大脳皮質機能が生後の環境によって特に変わりやすい時期—感受性期(臨界期)—の発現メカニズムの理解が進み、感受性期(臨界期)の開始や終止を薬物によって操作できる可能性が示された。
- 乳幼児の認知・行動発達と脳の構造・機能発達との関係が脳機能イメージングによって明らかになり始めた。
- 乳幼児の言語発達過程と脳活動との関係が明らかになり始めた。
- 自閉症やほかの発達障害の原因遺伝子の一部が明らかになった。しかし、これらの遺伝子と発達障害の関連性についてはいまだに不明の点が多い。
- 他者の心を理解する脳活動の発達過程が明らかとなり始めた。
- 子どもの注意欠陥多動性障害におけるドーパミン系の役割等の生物学的要因が明らかになり始めた。
- 自閉症、アスペルガー症候群等の広汎性発達障害児の脳活動の特徴が脳機能イメージング等によって明らかとなり始めた。

出典:「脳科学研究ルネッサンス」2007を基に(株)三菱総合研究所にて作成

「脳を育む」領域での日本の代表的な研究成果としては(独)理化学研究所の脳科学総合研究センターのヘンシュ・貴雄による「生後発達期の脳の発達の仕組みの解明」があげられる。ヘンシュは、脳の発達の仕組みに関して、臨界期可塑性に関与する神経回路細胞及び神経回路の機能発現の仕組みを世界で初めて解明し、その研究成果を、2005年11月発行の英科学誌『ネイチャー・レビュー』に発表するなど、その業績は国内外で高く評価されている。また、同研究センターの入来篤史の研究も注目される。入来は、これまで心理学や哲学で扱われてきた人間の知性や心を、脳の活動から生物学的に捉えようとする研究アプローチを世界で初めて示し、研究の先端を走っている。

(3) 科学技術成果のインパクト

脳科学研究の最大のインパクトは、科学技術面へのインパクトである。脳科学が進展することにより、心の理解や人類社会の調和と発展につながる科学的価値の高い成果を生み出した。また、心理学、認知科学、さらには社会学、教育学、経済学、法学等の人文・社会科学の一部とも融合した新しい人間の科学を創出し、これまでの科学の枠組みを変える可能性を秘めている。

「脳科学」(Brain Science)という言葉は、1978年創刊の”Behavioral and Brain Sciences”誌に見られる。しかし、バイオロジーを基盤に据えて、従来から行われていたニューラルネットワークなどの脳機能の工学、情報科学、人間科学の研究、そして医学、臨床の研究を統合的にまとめた概念として明確に定めたのは、我が国の研究者・科学者集団である(「脳科学の推進に関する研究会」(1993年)、日本学術会議による「脳科学の推進について」(1996年)、科学技術庁開発局懇談会の報告書「脳科学の時代」(1996年)など)。「脳科学」の研究領域概念は、特殊法人理化学研究所(当時)の中に脳科学総合研究センター(Brain Science Institute; BSI)の設立(1997年)として結実するとともに、それまで異なる専門分野として別々に行なわれていた複数領域の研究を統合し、分野横断的な研究を促進することとなった。近年、「脳科学」(Brain Science)の研究領域概念は世界的に定着し、研究も活発化してきている。これは、BSI 設立後も近年に至るまで継続的にこの領域の研究を推進した政府投資の大きな貢献とみることができる。

①経済的インパクト

脳科学研究の成果の中で、経済的なインパクトが期待されているのは、「脳を創る」領域である。脳を創る領域の研究が進展することにより、視覚・聴覚等の人工感覚器や、ロボットスーツ、脳型コンピュータが実現され、新産業の創出が期待されている。

②社会的インパクト

社会的なインパクトとしては、各種の病の克服があげられる。社会が高齢化し、多様化・複雑化も進む中で、精神・神経疾患や心に問題を抱える人の数は著しく増加している。例えば、認知症とされる人は約170万人^(注1)、うつ病等を含む気分障害は約90万人^(注2)、パーキンソン病は約15万人^(注3)、自殺者の数は毎年3万人以上^(注4)とされるが、「脳を守る」領域の研究による病因・病態解明の進展により、それらの病が克服されることが期待されている。

③国民生活へのインパクト

国民生活へのインパクトとしては、「脳を育む」領域の進展による教育や生涯学習における諸課題の解決である。発達障害メカニズムが解明されることにより、発達障害の予防・治療につながったり、種々の脳発達の感受性期(臨界期)がわかることにより、将来的には教育カリキュラムへの応用も検討されている。

(4)政府の果たした役割

脳科学研究において、政府がこれまでに果たした役割は、以下の3点にまとめられる。

- ・ 研究開発戦略を明示し、日本全体として総合的に研究を推進させた
- ・ 研究開発拠点を整備し、政府が主体となって研究を進めた
- ・ 研究開発資金を提供し、数々の研究開発成果を創出した

(注1) 「認知症の医療と生活の質を高める緊急プロジェクト」報告書(2008年7月厚生労働省認知症の医療と生活の質を高める緊急プロジェクト)

(注2) 2005年患者調査報告(厚生労働省)

(注3) 2005年患者調査報告(厚生労働省)

(注4) 平成19年中における自殺の概要資料(2008年6月警察庁)

以下にその内容を述べる。

① 研究開発戦略を明示し、日本全体として総合的に研究を推進させた

1990年代後半、米国や欧州と比較して、日本では、国全体としての推進体制などの総合力が不十分であるとの認識から、「脳科学研究の推進について(勧告)」、「脳科学の時代」、「大学等における脳研究の推進について(報告)」において、研究支援基盤の充実や脳科学研究の推進体制の整備等が必要であることが指摘された。

それらを踏まえ、1997年5月に、「脳に関する研究開発についての長期的な考え方」が報告された。当該報告では、日本における脳科学研究開発に関して、5年ごと20年間の具体的な研究開発目標が「脳を知る」、「脳を守る」、「脳を創る」の3領域に分類して示された(「脳を育む」領域は2002年度から追加)。

このように、国として戦略的に脳科学研究を推進すべきことが示され、科学技術振興調整費やJST 戦略的創造研究推進事業、科学研究費補助金特定領域研究などの研究支援基盤整備につながり、1997年には(独)理化学研究所 脳科学総合研究センター(BSI:Brain Science Institute)も設立された。

2000年代前半では、第2期科学技術基本計画において脳科学が分野別推進戦略から外れることにより、一旦政府による取り組みは減少したが、第3期科学技術基本計画の分野別推進戦略において、「脳や免疫系等の高次複雑制御機能の解明など生命の統合的理解」、「情報科学との融合による、脳を含む生命システムのハードウェアとソフトウェアの解明」、「こころの発達と意思伝達機構並びにそれらの障害の解明」等が、ライフサイエンス分野の重要な研究開発課題(5年間に政府が取り組むべき重要な課題)として選定されたため、文部科学省を中心として、「社会に貢献する脳科学」の実現を目指して、脳科学研究が再び重点的に推進されるようになった。

それらの動きを受けて、脳科学研究のあり方についても再検討が行われており、2007年5月に「脳科学研究ルネッサンスー新たな発展に向けた推進戦略の提言ー」が取りまとめられた。同報告書では、重点的に推進すべき領域を設定し、各領域の研究の現状等を踏まえ、特に社会的要請や緊急性が高いものについて、戦略的に研究開発を実施することを求めている。さらに、それを拡充し、実行に移すために2009年1月に科学技術・学術審議会から、「長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想及び推進方策について」が第1次答申案(中間とりまとめ)として示されている。

上記の研究開発戦略策定の流れを第2-3-2-6表に示す。

第2-3-2-6表 日本の脳科学に関する研究開発戦略策定の流れ

年月	報告名	報告者
1996年 4月	「脳科学研究の推進について(勧告)」	日本学術会議
1996年 7月	「脳科学の時代」	科学技術庁脳科学の推進に関する研究会
1997年 3月	「大学等における脳研究の推進について(報告)」	文部省学術審議会特定研究領域推進分科会バイオサイエンス部会
1997年 5月	「脳に関する研究開発についての長期的な考え方」	科学技術会議ライフサイエンス部会脳科学委員会
2006年 3月	「分野別推進戦略」	総合科学技術会議
2006年 12月	「脳科学研究ルネッサンスー新たな発展に向けた推進戦略の提言ー」	文部科学省「脳科学研究の推進に関する懇談会」
2009年 1月	長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想及び推進方策について(第1次答申案)	科学技術・学術審議会

出典:(株)三菱総合研究所にて作成

② 研究開発拠点を整備し、政府が主体となって研究を進めた

1997年10月に、我が国初の脳科学総合研究機関として、特殊法人理化学研究所(当時)に脳科学総合研究センター(理研 BSI)が設立され、関連諸領域を融合した戦略的脳科学研究を先導的かつ総合的に推進するとともに、人事制度、国際化等に新しい仕組みが導入された。

理研 BSI は、500人を越える研究者を擁し、前述したようなさまざまな目覚ましい研究成果を挙げている。予算規模は年間100億円前後(2008年度は93億2100万円のうち60億円程度が人件費)である。理研 BSI の特徴を第2-3-2-7表に示す。

第2-3-2-7表 脳科学総合研究センター(BSI)の特徴

革新的な研究システム	<ul style="list-style-type: none"> ・ 終身雇用ではなく、すべて期間契約制(平均年齢は30代半ば) ・ 若手研究者は、最長5年まで更新が可能な1年毎の任期制雇用契約で、チームリーダーは5年間のローリング・テニユア ・ チームリーダーは独立した外部の専門家による評価結果により再任 ・ チームリーダーは、研究者の採用や研究費の執行、大学や産業界との協力についても最大限の裁量を任されている。
開かれた、国際的な研究環境	<ul style="list-style-type: none"> ・ 500名の研究者・スタッフ中、約80人が外国人(国籍は26カ国、チームリーダー・ユニットリーダーにも14人の外国人) ・ 将来的目標は研究員とチームリーダーの3分の1以上を外国人 ・ 研究室内だけでなく、セミナーや会議などでも英語が公用語 ・ 外国人研究者が着任した後の支援体制も強化し、脳科学研究推進部内には日本での生活や業務に関するヘルプデスクを設置
外部との有機的連携	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内部の個別研究以外に、外部研究機関との連携協力を強力に推進 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 米国マサチューセッツ工科大学(MIT)ピコワー学習記憶センターに理研-MIT 神経回路遺伝学センターを設置 ➢ このほか、国内外の20を超える研究機関と連携協力 ➢ 国内外の研究機関などと100を超える共同研 ・ 企業が密接に連携し新分野を切り開く研究領域の育成、理研と企業の双方の文化を吸収した優秀な人材の育成を目的に、中長期的な課題に取り組んでいる(2007年に、理研 BSI-オリンパス連携センターと理研 BSI-トヨタ連携センターを設置)
各種セミナーによる BSI 内外の交流	<ul style="list-style-type: none"> ・ 年1回のリトリート(センター全体のセミナー)、サマープログラム(外部研究機関の研修生向け)やチュートリアルシリーズ、インバイテッドセミナーシリーズにより、研究者同士の交流を手助けし、脳科学の幅広い背景に親しみ、最先端の脳研究を学ぶ機会を提供
研究を能率的に進めるためのチーム体制	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究チームは、チームリーダー、研究員、テクニカルスタッフ、アシスタントで構成され、1チームの人数は10人から15人程度 ・ テクニカルスタッフとアシスタントについては任期期限なし ・ とくに優秀な研究員については、小規模な研究室を主宰するユニットリーダーとして任用される道が開かれている
透明性の高いマネジメントシステム	<ul style="list-style-type: none"> ・ アドバイザリー・カウンシル、研究レビュー委員会及びサーチ委員会を設置し、運営における透明性をより高め、広く国際的な見地からの指導や助言を得ている

出典：(独)理化学研究所 脳科学総合研究センター(BSI)のホームページの情報をもとに(株)三菱総合研究所にて作成

その他、(独)産業技術総合研究所や(株)国際電気通信基礎研究所においても、脳科学研究や認知科学研究と情報学、コミュニケーション技術等を融合した研究開発が行われている。また、大学共同利用機関法人自然科学研究機構生理学研究所(2004年3月までは岡崎国立共同研究

機構生理学研究所)等では、多くの共同利用・共同研究や国際シンポジウムの開催を通じて、研究者のネットワークが活性化された。

③ 研究開発資金を提供し、数々の研究開発成果を創出した

日本の脳科学研究に関する政府予算規模は、年間300億円程度^(注)である。これは、ライフサイエンス関連予算の7%程度であり、英国の約2400億円、米国の約5700億円と比較して、著しく少ないが、先述したような数々の成果を生み出すことに大きく寄与している。

国による脳科学に関する研究開発プロジェクトは、1997年の「脳に関する研究開発についての長期的な考え方」を受けて、関係府省・機関が連携し、科学技術振興調整費、JST 戦略的創造研究推進事業(ERATO、CREST、さがけ)などを活用した目標達成型(トップダウン型)のプロジェクトが推進された。例えば、CREST の「脳を創る」プロジェクト(1997-2002年度)においては「脳型情報処理システムのための視覚情報処理プロセッサの開発」といった研究課題が実施されている(最近では、戦略的創造研究推進事業として、2007年度予算額で約23億円が脳科学研究関連に配分されている)。それと並行して、大学等におけるボトムアップ型の研究として、科学研究費補助金特定領域研究で「総合脳」(1998-2002年度)、「先端脳」(2000-2004年度)、「統合脳」(2004-2009年度)という一連の研究が行われている。科学研究費補助金では、2007年度予算額で、約62億円が脳・神経科学系の研究に配分されている。

また、人文・社会科学を含めた視点からのプロジェクトとしては、JST が実施する社会技術研究開発事業において、「脳科学と社会」研究開発領域が設定され、2001年度より「脳科学と教育」、「日本における子供の認知・行動発達に影響を与える要因の解明」という2つのテーマで研究が進められている。

さらに、文部科学省では、2008年度より「脳科学研究戦略推進プログラム」(2008年度17億円、2009年度23億円)を開始しており、「ブレイン・マシン・インターフェースの開発」、「独創性の高いモデル動物の開発」等を実施している。

文部科学省以外では、厚生労働省が厚生労働科学研究費補助金「こころの健康科学研究」(2008年度約18億円)の一部で、統合失調症やうつ病等の精神疾患に関する研究が行われている。また、総務省では学際的アプローチを重視した基礎研究プロジェクト「情報通信ブレークスルー基礎研究21」(1998年開始)の中で人間・社会科学や生物学・生命科学の関連研究として脳の情報処理や言語・記憶・理解メカニズムの解明研究が実施された。最近では、ICT 国際競争力強化重点技術戦略(2007 年8 月)の中で「脳情報通信技術」を挙げており、脳の情報処理機能に注目した研究開発を行っている。

経済産業省では、従来から、技術戦略マップのものづくり分野の一部にロボット等脳科学隣接領域への取り組みが見られ、ロボットや分子イメージングなどの診断機器に関する研究開発がおこなわれてきた。脳科学に関する取り組みは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における調査研究「脳科学の産業分野への展開に関する調査事業」(2007年度)、「脳科学の産業応用への推進に資する脳機能計測機器に関する調査事業」(2008年度)などが実施されてきている。さらに、農林水産省では、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・食品総合研究所における、味覚等の食生活と脳に関する研究、独立行政法人農業生物資源研究所大

(注) 「脳科学研究ルネッサンス」 2007 年 5 月

わしキャンパス(旧蚕糸・昆虫農業技術研究所)における、昆虫の脳に関する研究、各地の試験場における BSE 等家畜の脳に関する研究がそれぞれ行われている。

(5) 今後の展開

我が国において、従来、複数の異なる専門領域に分かれて行なわれてきた神経科学分野の研究は、「脳を知る」、「脳を守る」、「脳を創る」、「脳を育む」で表現される4領域を束ねた「脳科学」という研究領域へ統合が図られた。脳という多段階の階層構造を持つ複雑な生体システムをより深く理解するためには、専門領域相互間で積極的な協力と相乗効果を生み出す領域融合的な研究が期待されたためであり、具体的に特殊法人理化学研究所(現在の(独)理化学研究所)に脳科学総合研究センター(BSI)という統合型研究拠点が設立された。理研 BSI では、2008年4月から「心と知性への挑戦コア」、「回路機能メカニズムコア」、「疾患メカニズムコア」、「先端基盤技術研究コア」へと組織再編しているが、領域融合的研究が促進された証拠と見ることができる。また、「長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想及び推進方針について」では、以下のように述べられている。

脳科学に携わる研究者は、脳科学の学問が持つこのような特徴を意識し、脳の構造と機能についての知見を学問として究めるとともに、従来の専門分化型の枠組みに縛られることなく、異分野や関連諸領域との連携・融合を積極的に進めながら、人間の総合的理解を目指す「総合的人間科学」の構築を目指すことが期待される。また、次世代の人材の育成においては、脳科学の特徴である学際性・融合性を十分に意識し、広い視点から研究の内容や方向性を整理・再構築する能力を涵養することが必要である。

さらに、「長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想及び推進方針について」では、研究開発だけに留まらない日本の脳科学全体の状況に関して、以下のような課題、改善すべき点を指摘している。

第1に、我が国の脳科学研究の水準は高いのにも関わらず、基礎的な知見の集積の基盤となる研究を長期間に安定して支援するための方策が不十分である。

第2に、脳科学研究に対する社会からの期待が高まっている一方で、脳科学研究の成果を社会に結びつけるための重点的な推進方策が不十分であり、基礎研究と社会への貢献を見据えた研究の間に大きなギャップが存在する。

第3に、我が国の脳科学研究推進の基盤となる大学において、我が国の脳科学研究は、講座や研究所の一部門などの小さな研究単位で主に行われており、特色を活かした、より大規模の研究教育拠点及びネットワーク形成が不十分である。

第4に、「総合的人間科学」を可能とする生命科学的基盤の1つである脳科学17について、世界の一流機関と伍していくことができる競争力の高い国際的研究拠点の強化が不十分である。

第5に、脳科学の特徴である学際性・融合性を十分に引き出すことのできる広い視野と深い知見、卓越したスキルを備えた人材を育成するための研究教育が、21世紀 COE プログラムやグローバル COE プログラムなどの時限付きの体制による取組に留まっており、長期的視

点による脳科学の人材育成に取り組むことができていない。

第6に、脳科学が自然科学としての信頼性を失いかねないような事態を避けるとともに、研究成果に関する誤った情報が社会に流布されることのないよう、脳科学と社会との健全な関係構築、及び倫理性の確保が課題である。

(6)参考文献

- ・ 文部科学省 長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想及び推進方針について～総合的人間科の構築と社会への講演を目指して～ 第27回科学技術・学術審議会総会(2009年1月23日)
- ・ 文部科学省研究振興局ライフサイエンス課 脳科学研究について 学術分科会(第24回)及び学術研究推進部会(第17回)合同会議 参考資料 (2007年11月2日)
- ・ 文部科学省 脳科学研究の推進に関する懇談会 脳科学研究ルネッサンスー新たな発展に向けた推進戦略の提言ー(2007年5月)
<http://www.lifescience.mext.go.jp/download/39th/39-5-3.pdf>
- ・ 2007年度版 科学技術白書
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa200701/010.htm
- ・ 1992年度版 通信白書
- ・ (独)科学技術振興機構 ERATO 型研究 川人学習動態脳プロジェクト
http://www.jst.go.jp/erato/project/kgd_P/kgd_P-j.html
- ・ 科学技術政策研究所 ナイス ステップな研究者2005
(独)理化学研究所脳科学総合研究センター http://www.brain.riken.jp/index_j.html
- ・ NTT データ研究所 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構調査事業 脳科学の産業分野への展開に関する調査事業 調査報告書2008
- ・ 農林水産省農林水産研究情報総合センター 農林水産研究情報総合案内
<http://www.affrc.go.jp/en/>
- ・ (独)理化学研究所脳科学総合研究センター 脳研究の最前線 講談社 (2007年)

3. 事例3 地球と宇宙の探査・観測技術

(1) 事例の背景

宇宙技術は、すでにさまざまな分野で生活に直結する技術基盤として定着している。例えば、気象衛星「ひまわり」からの雲の画像は台風シーズンには欠かせないものである。衛星放送は TV 放送の多チャンネル時代を到来させ、すでに販売される新車の半数が搭載していると言われるカーナビゲーションは、GPS (Global Positioning System: 全地球測位システム) というアメリカ国防総省の衛星からの電波を受信して自らの位置を決定しており、潜在的市場が宇宙技術により顕在化した事例でもある。

宇宙開発は、いわゆるスピノフ (技術移転) という形でも、技術開発成果を社会に還元している。アメリカでは巨額の国費を投じたアポロ計画に賛否両論あるが、70~80年代のアメリカの国力を増強させることに大きく貢献し、さまざまなスピノフを生み出したことは間違いない。非接触の放射温度計、ペースメーカー、高機能先端材料、あるいは、多くの科学ソフトウェアプログラムなどが宇宙開発のスピノフとしてあげられ、最近では、NASA 向けに開発された衝撃吸収素材を利用した低反発枕が有名である。このように、宇宙技術から派生した技術の多くは、日々の生活基盤を支える技術として浸透し、社会の発展を支える技術として定着している。我が国でも、X 線天文衛星のセンサ開発成果の医療・空港手荷物検査等への応用、ロケット断熱材技術の建築用断熱塗料への利用と言った事例があり、創薬・癌治療等の医療、テロ対策等のセキュリティ、消費電力の抑制による省エネと言った宇宙開発とは全く異なる分野での宇宙技術の活用が浸透しつつある。

我が国の宇宙開発の歴史は、1950年代の東京大学のロケット実験までさかのぼることができる。1970年には、旧ソ連、米、仏に次いで4番目となる我が国初の人工衛星「おおすみ」が打ち上げられた。文部省宇宙科学研究所 (現在は、2003年の宇宙三機関統合を経て、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部) では、以来、世界最高水準の宇宙科学研究成果を挙げることを通じて、人類の知的資産の拡大に貢献してきた。近年では、以下のような成果を挙げてきている。

- 宇宙および生命の誕生を支配する真理の探求や、人類の未踏峰であるフロンティアへの挑戦を通じて、世界を先導する科学成果を創出。
- 世界最高の望遠鏡を駆使し太陽の謎に迫る「ひので」、X 線望遠鏡で宇宙の進化の過程を明らかにする「すざく」。
- 地球から約3億キロメートル離れた小惑星イトカワへの離着陸及び詳細な観測に成功し、試料回収カプセルの回収のため地球への帰還準備を進める「はやぶさ」、米アポロ計画以来の本格的な月探査を成功させ、月の誕生と進化の謎の解明に迫るとともに、驚くべき月の風景及び満地球の出を精細な映像で見せてくれた「かぐや」。

宇宙を探査し、観測することで得られる科学、つまり宇宙科学とは、その活動の対象と場所を地球という枠内に留めるのではなく、地球周辺空間から太陽系空間、さらには銀河以遠へと押し広げ、「この自然界がどのように成立し、どのような法則によって支配され、なぜ生命が生まれ、それらがどのように進化するのかを知りたい」という根源的な欲求に基づいた知的活動の総称である。

宇宙というフロンティアにおいて知的活動の場を求めることは、同時に必要とされる技術の発達を促し、また、未知の環境に対する知見を蓄積することで、人類の創造性を刺激し、人類の活動能力の向上をもたらしてきた。今後も、科学を通じた宇宙への挑戦は人類の将来の発展に向け、欠かす

ことのできないものであると考えられる。

一方で、旧科学技術庁及び旧宇宙開発事業団を中心に、1970年代より通信衛星、放送衛星、気象衛星といった実用衛星の研究開発、また1980年代より地球観測衛星の研究開発が行われ、社会基盤構築への貢献が成されてきた。

21世紀に入り、「安全・安心な社会」、「地球環境問題」、「国際貢献」などの社会が抱える課題に対して、地球観測衛星から得られたデータにより対処していく時代が訪れている。地球環境問題では、衛星からのグローバルな観測は科学的知見に基づく対策を探る上で不可欠であり、さらに地球全体の問題として人々の認識を高める面でも貢献している。地球観測の領域で我が国が果たす役割に対する国際社会からの期待も極めて大きくなりつつある。

このような情勢の中、第3期科学技術基本計画においては、「宇宙輸送システム」及び「海洋地球観測探査システム」が国家基幹技術として選定され、人工衛星を宇宙輸送システムによって、必要な時に、独自に宇宙空間に打上げる能力を将来にわたって維持するとの基本方針の下、国際競争力の強化による宇宙開発・利用の産業化という目標を実現するため、関連機関との連携等関連施策と研究開発を一体的に推進するとの方針が示されている。

(2) 研究開発の経緯

現在、我が国の宇宙開発分野における研究開発の中心的組織である独立行政法人宇宙航空研究開発機構(Japan Aerospace Exploration Agency:JAXA)は、2003年10月に、宇宙開発事業団、宇宙科学研究所及び航空技術研究所の三機関が統合され、発足した。

JAXA 発足後の第1期中期計画期間(2003年10月～2008年3月)において、事業の重心を「技術の開発と実証」への取り組みから、その技術開発の成果を社会・経済に還元するための取り組みへと移してきた。以下に、JAXA 発足後の主な活動を示す。

- 2005年2月、H-IIA ロケット7号機による運輸多目的衛星「ひまわり6号(MTSAT-1R)」打上げ
 - 「ひまわり」の画像として日々の天気予報ニュースで利用され、航空管制にも利用
- 2005年7月、M-V ロケット6号機による X 線天文衛星「すざく(ASTRO-EII)」の打上げ
 - X 線天文観測により、銀河団のような大規模な構造及びその進化を探る
- 2005年7月、野口聡一宇宙飛行士がスペースシャトル「ディスカバリー号」に搭乗し、STS-114ミッションに参加
- 2005年8月、露ロケット「ドニエプル」による光衛星間通信衛星「きらり(OICETS)」及び小型高機能科学衛星「れいめい(INDEX)」打上げ
 - 将来技術である衛星間光通信実験、超小型衛星によるオーロラ観測を実施
- 2005年9～12月、小惑星探査機「はやぶさ(MUSES-C)」が小惑星イトカワに到着し観測に成功
 - 小惑星への離着陸に成功、現在、地球に向かって帰還中(2010年6月帰還予定)
- 2006年1月、H-IIA ロケット8号機による陸域観測技術衛星「だいち(ALOS)」の打上げ
 - 宇宙からの地球観測データにより、地図作成、地域観測、災害状況把握、資源調査などに利用
- 2006年2月、H-IIA ロケット9号機による運輸多目的衛星「ひまわり7号(MTSAT-2)」打上げ
 - 気象業務に関しては「ひまわり6号」の軌道上バックアップ、また2機体制で航空管制業務に利用

- 2006年2月、M-V ロケット8号機による赤外線天文衛星「あかり(ASTRO-F)」打上げ
 - 赤外線天文観測により、全天赤外線観測図を作成
- 2006年9月、H-IIA ロケット10号機による情報収集衛星打上げ
- 2006年9月、M-V ロケット7号機による太陽観測衛星「ひので(SOLAR-B)」打上げ
 - 太陽の磁場分布や電流分布、速度分布の精密な観測
- 2006年12月、H-IIA ロケット11号機による技術試験衛星 VIII 型「きく8号(ETS-VIII)」打上げ
 - 大型展開アンテナ等の技術で携帯端末による移動体通信の実現
- 2007年2月、H-IIA ロケット12号機による情報収集衛星2機同時打上げ
- 2007年9月、H-IIA ロケット13号機による月周回衛星「かぐや(SELENE)」打上げ
 - 月の元素・鉱物組成、地形、地下構造、磁気異常、重力場等の観測
- 2008年2月、H-IIA ロケット14号機による超高速インターネット衛星「きずな(WINDS)」打上げ
 - 国内のみならず国際的なインターネットアクセスの超高速化、デジタルデバイドの解消等
- 2008年3月、土井隆雄宇宙飛行士がスペースシャトル「エンデバー号」に搭乗し、「きぼう」日本実験棟の船内保管室を国際宇宙ステーション(ISS)に取り付け
- 2008年6月、星出彰彦宇宙飛行士がスペースシャトル「ディスカバリー号」に搭乗し、「きぼう」日本実験棟の船内実験室及びロボットアームを国際宇宙ステーション(ISS)に取り付け、同年8月より実験利用開始
- 2009年1月、H-IIA ロケット15号機による温室効果ガス観測技術衛星「いぶき(GOSAT)」打上げ
 - 全球の温室効果ガス(二酸化炭素やメタン)の濃度分布の観測

(3) 科学技術成果のインパクト

① 知の獲得への貢献

X 線天文衛星「すざく」、赤外線観測衛星「あかり」、電波観測衛星「はるか」(2005年運用終了)、太陽観測衛星「ひので」により、我が国は宇宙空間からの天文観測の重点領域3領域(X 線、赤外線及び電波(スペース VLBI 観測))及び太陽観測において、世界トップレベルの顕著な成果を創出した。

「すざく」によるX線観測では、ブラックホールの発見、巨大なブラックホールからの鉄の輝線の変形の実証に加え、銀河系内の宇宙線の起源の解明などに挑戦してきた。

「あかり」による赤外線観測では、星からの質量放出と星間ガスとの相互作用の解明、銀河の中の星間物質の探査、過去の宇宙の星生成率の解明に加え、過去において欧米の同様な天文衛星の全天観測により作成されたカタログ(天体の位置情報)に対し 3倍近い数の位置情報を含む赤外線天体のカタログを完成させた。今後の天文学研究を導く基礎資料として期待されている。

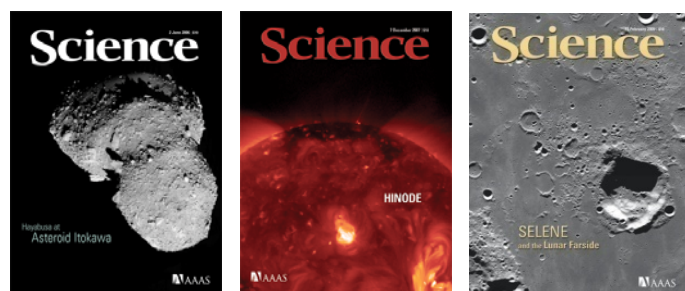
「はるか」による電波観測では、世界で初めて宇宙および地上の電波望遠鏡群による電波干渉計を構成するスペース VLBI(超長基線電波干渉計)計画を実現し、人類史上最高の高解像度を実現し、活動銀河核から飛び出している宇宙ジェットの内部構造を明らかにし、銀河核の電波の明るさを測定し、温度で10兆度に相当する明るさの銀河を発見した。

従来の観測精度を凌駕する観測機器を搭載した「ひので」による太陽観測では、太陽表面(光球)温度が約6,000度であるのに、上層大気(コロナ)温度が100万度を超えると言う「コロナ加熱問題」の謎に迫るとともに、無線通信の途切れや電気設備の異常を引き起こす太陽風の発生現場を世界で初めてとらえ、宇宙天気予報と言う太陽風の変動及びそれが引き起こす影響の予測の研究

の進展に貢献し、太陽物理学に変革をもたらす重要な成果を挙げた。

このような日本の宇宙科学の成果は世界で高く評価されている。例えば、世界有数の科学誌である Science 誌および Nature 誌にも、我が国科学衛星から得られた成果に関する論文が多数採用されている。特に、Science 誌においては、過去4年の間に3回もの特集号が発行されている(第2-3-3-1図)。

第2-3-3-1図 Science 誌の表紙を飾る日本の宇宙科学研究の成果



注: 左から「はやぶさ」2006年6月2日号、「ひので」2007年12月7日号、「かぐや」2009年2月13日号
出典: Science, AAAS

2006年6月2日号の Science 誌においては、「はやぶさ」特集号が刊行された。これは、日本の惑星探査では初の快挙であり、そもそも日本の惑星探査の科学成果が Nature 誌あるいは Science 誌に掲載されるのは、1985年、86年に Nature 誌に「さきがけ」、「すいせい」のハレー彗星探査の成果が掲載されて以来のことであった。同号では、「はやぶさ」が撮影したイトカワの画像が表紙を飾り、7本の論文が掲載された。なお、イトカワは始原天体とも呼ばれ、太陽系形成初期の情報を保存しているとも考えられている。さらに、彗星の核の地球への飛来が生命の起源と成ったとの説もあり、我が国独自の技術によるこのような天体の探査に対する海外からの期待も高い。

続いて、2007年12月7日号の Science 誌においては、「ひので」特集号が刊行された。これは、「はやぶさ」に続く快挙であり、「ひので」の撮影した映像が表紙を飾り、9本の論文が掲載された。また、欧州を代表する天文学の学術雑誌「Astronomy and Astrophysics」でも「ひので」特集号が発行された。

さらに、2009年2月20日号の Science 誌においては、「かぐや」特集号が刊行され、4本の論文が掲載された。地球の潮汐力により月の表裏は固定されており、月の裏側の重力場を直接観測できなかったが、子衛星と言う欧米には無い独自観測手段の活用により、世界で初めて月の裏側の重力場の直接計測に成功したこと、レーザー高度計により従来の観測結果を遥かに凌駕する月地形図を作成したこと等が評価されている。

なお、「すざく」については、2007年10月4日号の Nature 誌において、その成果が掲載されている。同誌に掲載された論文は「Extremely fast acceleration of cosmic rays in a supernova remnant」Uchiyama et al. Nature 2007 であり、「すざく」及び NASA の X 線観測衛星「チャンドラ」の観測データから、超新星爆発による衝撃波によって、数年程度の期間で宇宙線粒子が超高エネルギー(約1000兆電子ボルト)まで加速されることが明らかになっている。

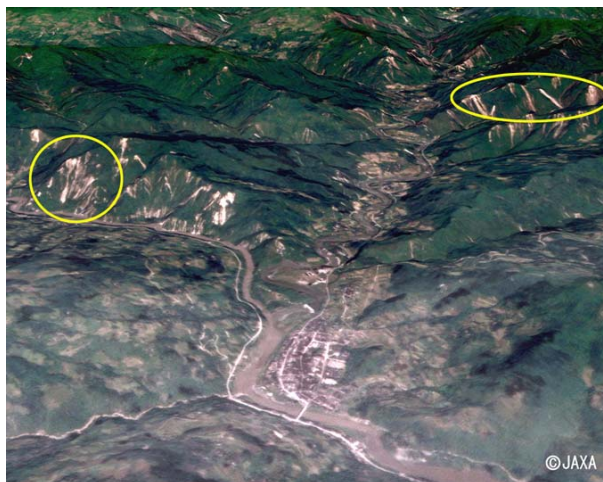
さらに、2008年4月には、「すざく」、「あかり」、「ひので」、「はやぶさ」、「かぐや」といった先進的な科学衛星・太陽系探査機の企画立案、開発、打上げ、運用を通じて画期的な科学的成果をあげ

探査の限界を押し広げた功績により、米国宇宙財団 (Space Foundation) のジャック・スワイガート賞 (Jack Swigert Award for Space Exploration) を受賞した^(注1)。

②社会的インパクト

衛星からの全球的な地球観測は、地球規模の環境問題や大規模自然災害等への貢献を通じ、安全で安心な社会の実現に寄与してきた。2006年1月に打上げられ2009年に当初の設計寿命3年を経過した陸域観測技術衛星「だいち」は、これまでに、地図作成や資源探査等に利用されてきたほか、中国の四川省や岩手・宮城の大地震などの大規模災害時に緊急観測により災害状況の早期把握に寄与するなど社会へ貢献してきた。

第2-3-3-2図 「だいち」による災害観測事例



注：2008年5月12日に発生した中国四川大地震の現地被害状況を緊急観測したときのもの
出典：画像提供：(独)宇宙航空研究開発機構

地図作成の利用では、国土地理院と協力し、パンクロマチック立体視センサ (PRISM)^(注2)データについて、空中写真や都市計画図等と同様、地形図の修正資料としての利用が本格的に開始された。現在は地形図約4,300面を対象にして、晴天時の「だいち」データが利用されている。海氷観測の利用実証としては、海上保安庁との協力のもと、データ伝送システムの検証(準リアルタイム配信システムの構築を進め、2007年度冬より休日も自動配信運用を実施し、準リアルタイムでの画像配信回数を増加しており、海上保安庁による流氷観測への「だいち」データの利用が継続されている。

「だいち」を利用した災害緊急観測活動として、大規模災害時に迅速に衛星より被災地を観測し、データを防災関係機関に提供し、災害状況把握等に貢献すると共に、防災分野への衛星利用の有効性の実証を進めてきた。「だいち」により、国内25件と海外109件の災害緊急観測活動を3年間

(注1) ジャック・スワイガート賞は、アポロ13号の宇宙飛行士で下院議員でもあったジャック・スワイガートを記念して2004年に創設され、宇宙探査の分野で最も優れた業績を上げた個人もしくは機関に授与されるもので、過去の実績者はNASAの火星探査チーム、ジョージ W.ブッシュ大統領、ジェット推進研究所、カリフォルニア工科大学の天文観測施設と研究者等となっており、JAXAは米国外初の受賞者となった。

(注2) PRISMは可視域を観測する光学センサで、地表を2.5mの分解能で観測することができる。PRISMのデータは高精度の数値標高モデル(DEM)を作成するために使われる。標高を含む地形データを取得するために3組の光学系を持ち、衛星の進行方向に対して前方視、直下視、後方視の3方向の画像を同時に取得している。

で実施している。このほかにも、「だいち」によりブラジル・アマゾン森林観測を継続的に行っており、違法伐採箇所の発見に寄与している。

一方、2009年2月に打上げられた温室効果ガス観測技術衛星「いぶき(GOSAT)」は、二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスの濃度分布を宇宙から全球レベルで計測する衛星であり、地球温暖化防止活動に大きな貢献が期待されている。「いぶき」は宇宙航空研究開発機構及び環境省が共同開発するプロジェクトで、宇宙航空研究開発機構は衛星と観測センサの開発を、環境省は主にデータ利用を担当している。「いぶき」では、高精度なセンサと約5万6000点の観測ポイントを誇り、これまでよくわからなかった温室効果ガスの詳細なデータを正確に観測することが可能となる。排出だけでなく移動、吸収など、さまざまな要因が絡む温室効果ガスの濃度分布を正確に観測する方法を確立することで、急務とされている地球温暖化防止対策を確実に進めることが期待されている。なお、米国 NASA は、同様の目的を持つ温室効果ガス観測衛星「Orbiting Carbon Observatory (OCO)」の打上げ(2009年2月)に失敗したため、「いぶき」は現在、宇宙から温室効果ガスを計測できる唯一の衛星である。

③国民生活へのインパクト

アジア・太平洋宇宙機関会議(APRSAF)は、アジア太平洋地域における宇宙利用の促進のため、この地域の宇宙機関や宇宙利用を進める行政機関・国際機関等を含め産学官から広く参加者を求め、各国の宇宙活動や将来計画に関する情報交換、並びに具体的な協力活動の強化を目的とする国際会議である。この国際会議は、我が国が主体となって設立された。1992年のアジア太平洋国際宇宙年会議(APIC)閉会宣言における日本からの開催提案を契機に、1993年に第1回会合が開かれ、文部科学省、宇宙航空研究開発機構及びアジア太平洋地域の機関の共催のもと、これまでに15回の会合が開催されている(2009年3月末現在)。

近年では、自然災害により多くの被害を受けているものの、道路・通信網と言ったインフラが十分に整備されているとは言えないアジア太平洋地域における自然災害による被災状況の把握のため、「センチネル・アジア」プロジェクトが推進されている。このプロジェクトは、台風、洪水、地震、津波、火山噴火、山火事等の自然災害に関し、先ず第1段階として地球観測衛星などの宇宙技術を使って得た情報をインターネット上でタイムリーに配布・共有することにより、被害状況を迅速に把握することを目的としている。我が国が2005年に APRSAF で提唱し、2006年には我が国の提案に賛同する機関等が参加してプロジェクトチームが発足、現在、20ヵ国51機関、8国際機関が参加しており(2009年3月末現在)、その利用実績はこの地域の関係機関等に着実に広がっている。2006年1月に打ち上げられた陸域観測技術衛星「だいち」の画像に加え、今後は、インド、韓国、タイ等の観測衛星からもデータが提供されることになっており、センチネル・アジアは、我が国のリーダーシップの下、自然災害による被害状況の把握に貢献しているほか、アジア諸国との友好関係の維持・強化と言う外交面でも大きく貢献している。

「国際災害チャーター」は、正式名を「自然または人為的な災害時における宇宙施設の調和された利用を達成するための協力に関する憲章」(Charter on Cooperation to Achieve the Coordinated Use of Space Facilities in the Event of Natural or Technological Disasters)と言い、1999年の欧州宇宙機関(ESA)及びフランス国立宇宙研究機関(CNES)の提唱を受け、大規模災害発生時に宇宙機関の衛星データを指定ユーザー(参加宇宙機関が属する国の防災関係政府機関で、災害状況把握のための観測データの提供を災害チャーターに要請できる)へ提供するた

めに設立された国際協力の枠組みである。参加宇宙機関間は資金の授受を行うことなく、「最善の努力ベース」でデータ提供を行っている。JAXAは、2005年に「だいち」を運用する宇宙機関として正式加入しており、現在では世界10機関が参加している（2009年3月末現在）^{（注）}。我が国は、「だいち」の光学観測機器および合成開口レーダのデータ提供に基づいて協力を行う体制を作っている。

国際災害チャーターへの参加国は地球観測衛星を保有していることが条件である。また、国連機関は指定ユーザーとなっており、所掌業務に関連する場合には本チャーターを発動することが出来る仕組みであるが、例え被害国であっても、チャーター参加国で無い場合には、本チャーターを発動する権限を有していない。一方、前述のセンチネル・アジアでは、衛星の保有に関係なく参加でき、現在、実質的に東南アジアの各国からの災害発生時に観測要求を受けられるメカニズムとなっている。

国際災害チャーターにおける最近の我が国の貢献としては、2008年5月2日から3日にかけてミャンマーを襲った大型サイクロンが挙げられる。ミャンマーの大型サイクロンの際は、指定ユーザーである国連宇宙部（UNOOSA）の要請で国際災害チャーターが発動され、この発動を受けて、直ちに「だいち」による緊急観測が行われた。サイクロン上陸から4日後の5月7日には、UNOOSA を通じてミャンマー政府へデータが提供された。なお、その後、救援に向かった我が国の国際協力機構（JICA）からの依頼を受け、観測データが提供された。これらの活動を通じ、UNOOSA 及びミャンマー政府から「だいち」のタイムリーな観測データの提供は非常に有効であったと高い評価を受けている。

（4）政府の果たした役割

宇宙分野においては、その黎明期より政府が主体的に研究開発を担ってきた。1964年東京大学宇宙航空研究所が創設（1981年に文部省所管の宇宙科学研究所に改組）され、固体ロケットと科学衛星を中心に宇宙科学分野において、世界一流の成果をあげてきた。

また、1969年には当時の科学技術庁により宇宙開発事業団が発足し、設立以来、内閣総理大臣が定める宇宙開発基本計画に基づき、人工衛星の開発ならびにロケット打上げなどを行い、国の重要な基幹技術であるロケット、人工衛星の開発能力を着実に発展してきた。国際宇宙ステーション計画へも参加し、国際的な宇宙協力活動の一翼も担ってきた。

一方、航空分野においても、戦後、航空研究を中断していた当時の日本政府は、我が国の航空再建に向けて、その基盤となる航空試験設備の整備や航空技術の研究が急務と考え、1955年7月に総理府航空技術研究所が設立された（1956年に科学技術庁発足とともに同庁の所管、1963年に航空宇宙技術研究所と改称）。

2003年には、三機関統合により、現在、国の宇宙開発の中心的活動を行っている独立行政法人宇宙航空研究開発機構が発足し、各機関が持つ技術のシナジー効果を発揮し、基礎研究から開発・利用に至るまで一組織として一貫して行える体制が整備された。機関統合により、例えば、旧宇宙科学研究所及び旧宇宙開発事業団の M-V ロケット及び H-IIA ロケット等に携わる研究者

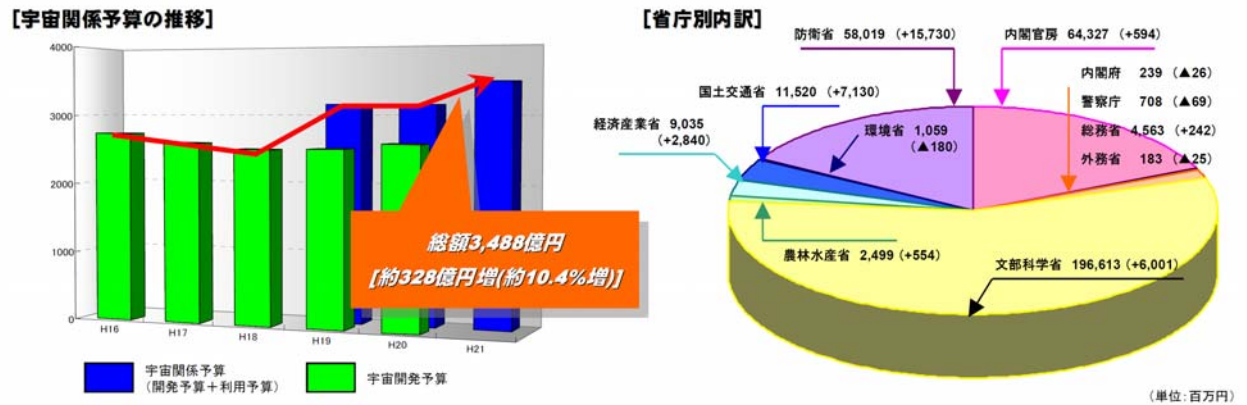
（注） 国際災害チャーター参加機関：欧州宇宙機関（ESA）、仏国立宇宙研究センター（CNES）、カナダ宇宙庁（CSA）、インド宇宙研究機関（ISRO）、米国海洋大気庁（NOAA）、アルゼンチン国家宇宙活動機関（CONAE）、宇宙航空研究開発機構（JAXA）、米国地質調査所（USGS）、DMC インターナショナル・イメージング（DMC）、中国国家航天局（CNSA）

及び技術者を集約してより確実に宇宙輸送系技術の開発及び打上げを実施してきている。

2009年度の政府の宇宙関係予算(政府案)は総額3,488億円であり、宇宙基本法元年でもあることから対2008年度予算比で、約328億円増(約10.4%増)と大幅な増加を計画している。

各省庁別の内訳を見ると、独立行政法人宇宙航空研究開発機構を所轄する文部科学省が全体の約56%を占めている(第2-3-3-3図)。

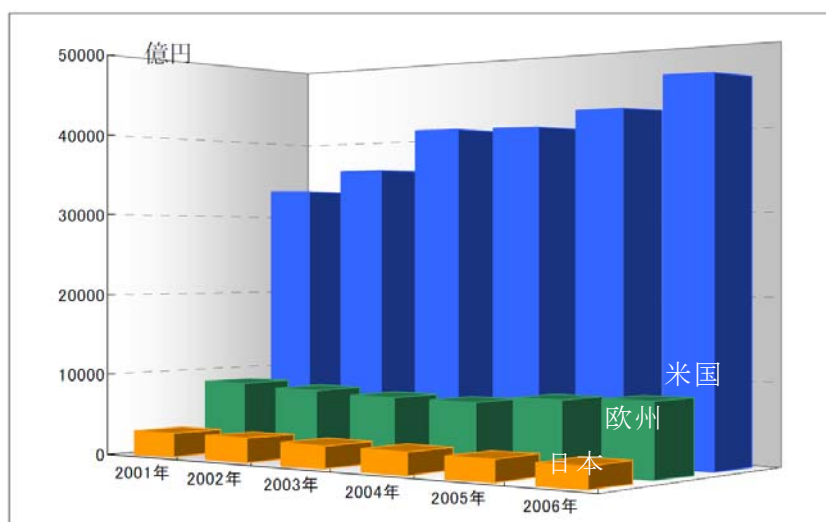
第2-3-3-3図 宇宙関係予算の推移と平成21年度省庁別内訳



出典: 宇宙開発戦略本部事務局 2009年2月5日

一方、我が国の宇宙開発予算(2006年ベース)を欧米と比べると、米国は18倍、欧州でも3.5倍の開きがあり、欧米と比べ、この分野に対する政府投資の大きな格差が見られる(第2-3-3-4図)。これは、欧米が宇宙開発を戦略的に重要な分野と認識している証左であろう。

第2-3-3-4図 日欧米の宇宙開発予算の比較



2006年予算額

日本	2,514億円
欧州	8,811億円 (5,989百万ユーロ)
米国	45,928億円 (39,526百万ドル)

出典:宇宙開発戦略本部事務局 2008年10月1日

元来、宇宙開発は、諸外国においても戦略的分野として位置づけられている。また、宇宙開発・利用については、高度情報化社会の実現、地球環境の保全、資源開発、又は安全・安心な社会の実現など多様な社会ニーズに応える基盤となるものであることから、今後も国家戦略として推進する必要がある。

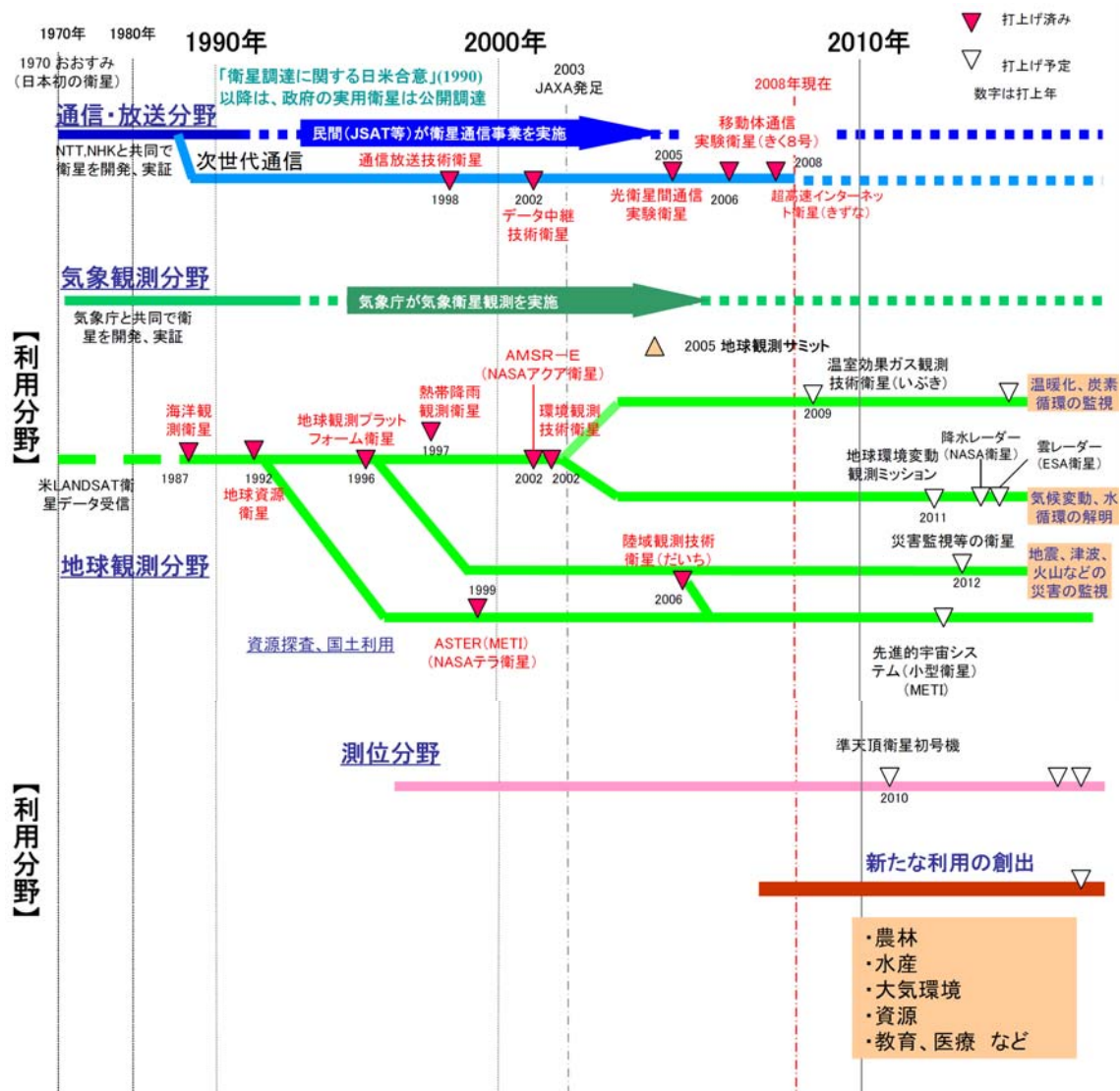
(5) 今後の展開

今後も国家戦略として宇宙開発に取り組むために、2008年5月に「宇宙基本法」が成立した(同年8月施行)。基本法に従い、宇宙開発利用に関する施策の総合的・計画的な推進を行うため、我が国の宇宙開発利用の司令塔として内閣総理大臣を本部長とする宇宙開発戦略本部が内閣に設置された。

宇宙基本法では、宇宙の平和的利用、安全保障に資する宇宙開発利用を含む国民生活の向上等、産業の振興、人類社会への発展、国際協力等の推進、及び環境への配慮という6つの基本理念が示されている。宇宙戦略本部では現在、この基本理念に従い、2009年5月を目処に我が国の国家戦略となる宇宙基本計画を作成しているところである。

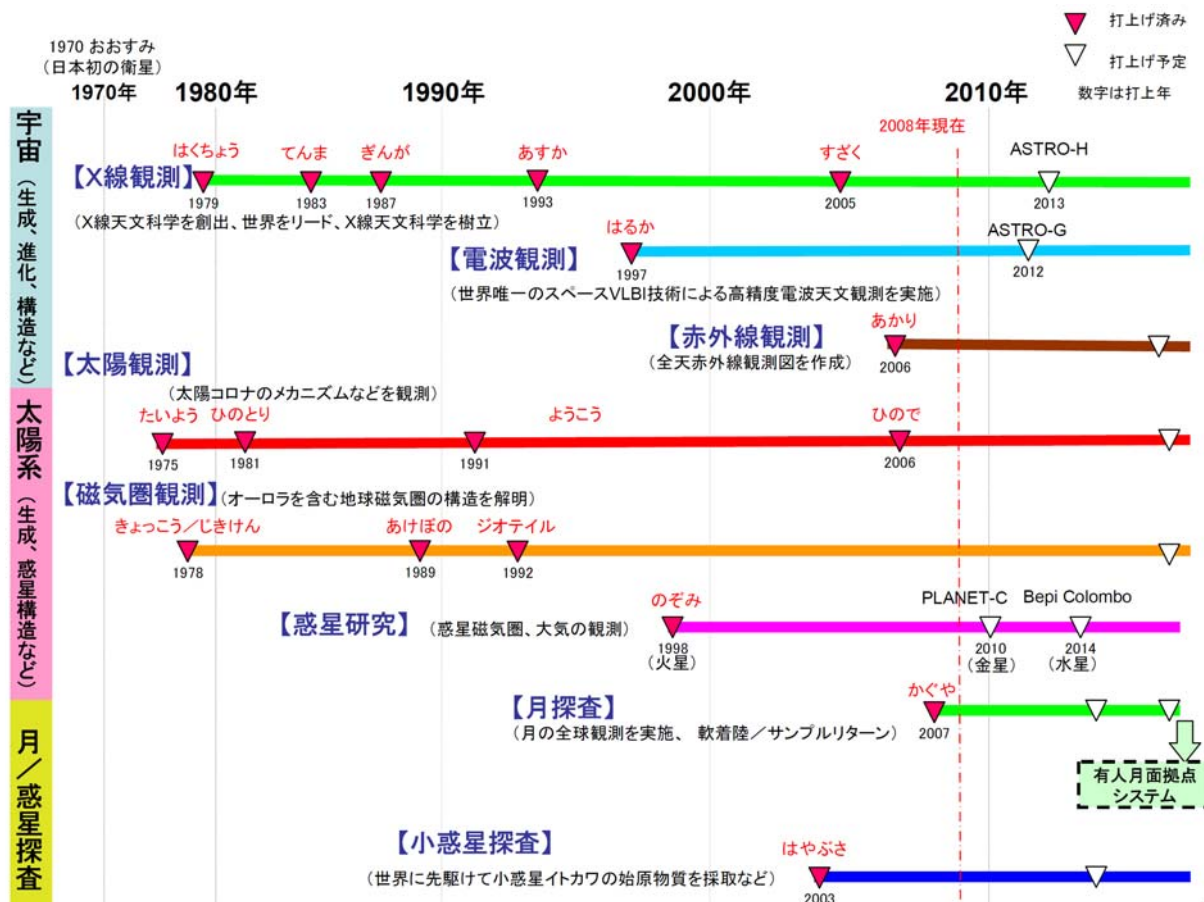
これまでの我が国の宇宙開発利用は、ロケットや衛星等の技術開発に力点が置かれていたとの感も否めないが、国民生活の質の向上、国の安全保障の確保及び科学技術立国としての国際競争力強化に寄与すべく、技術開発力を高めつつ、宇宙技術の利用を重視した政策へと転換が図られている。さらに、宇宙活動に関する法制度の整備、宇宙関連機関の体制見直しと総合的・一体的な推進のための行政組織のあり方の検討が予定されている。

第2-3-3-5図 通信・放送、気象観測、地球観測、測位分野の計画



出典：宇宙開発戦略本部事務局 JAXA 発表資料 2008年11月4日

第2-3-3-6図 宇宙科学・宇宙探査分野の計画



出典: 宇宙開発戦略本部事務局 JAXA 発表資料 2008年11月4日

(6) 参考文献

- 宇宙基本法 <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/utyuu/about2.html>
- 宇宙開発に関する長期的な計画:
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/uchuu/reports/08031303.htm
- JAXA 長期ビジョン http://www.jaxa.jp/about/2025/index_j.html

4. 事例4 X線自由電子レーザーと大型放射光施設

(1) 事例の背景

シンクロトロン放射光(SR:Synchrotron Radiation)は、光速度近くまで加速された電子が磁場によって曲げられたときに進行方向に発生する強い光である。この放射光は、指向性が強く、赤外・可視光からX線領域に及ぶ連続した波長の光であるため、物質の原子レベルでの構造解明等に極めて有効であり、ライフサイエンス、物質・材料等における基礎的研究を始め産業応用に至る幅広い分野で、最先端の利用研究が行われている。

放射光施設とは、この非常に強い光を利用した研究を行うための施設である。現在、我が国の大型放射光施設(SPring-8:Super Photon ring8GeV(ギガ電子ボルト))は、日本原子力研究所(当時)(原研)及び独立行政法人理化学研究所(理研)により、兵庫県の播磨科学公園都市に建設され、1997年10月に供用を開始した世界最高性能の放射光施設である。SPring-8は、従来の光源では達成できない未踏の科学技術領域の開拓に寄与し、広範な研究分野に飛躍的な発展をもたらす最先端の研究施設として利用されている。現在、推進中の第3期科学技術基本計画重点4分野の諸研究「ナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス、環境、情報通信」では、新物質の発見・創製と新しい特性・機能の解明の2つが一体となって初めて発展するものが多く、超微細領域における「物質の構造と性質」の解明が極めて重要である。例えば、情報通信を支えているのは電子・光・磁気などの新機能デバイスであり、その実現にはナノテクノロジーの活用が不可欠であるが、ナノ領域での新物質・新材料・新デバイスの開発には、ナノ構造物質の性質を調べ、新しい機能を創製することが必要であり、高輝度放射光はまさにこの分野での研究開発に絶大な威力を発揮する。また、ライフサイエンス分野においては、タンパク質の構造と機能の解析(プロテオミクス)、中でも生きた状態での生体物質の構造解析が重要な課題となっている。環境分野においても、高輝度放射光は大気層における環境破壊機構の解明などにおいて極めて大きな貢献が可能と考えられる。

さらに科学技術の進展に伴い放射光利用に対するニーズも多種多様化・高度化しており、微小・微量物質や非結晶試料、生きた試料の観察、超高速物理・化学反応・現象の観察、またナノメートル・サブナノ秒領域の高空間・高時間分解測定に対する要望も高まってきている。これらのさまざまな高度利用ニーズに対応するためには、SPring-8の高度化を継続して進めると共に、より高い輝度という量的な向上だけではなく、SPring-8の放射光には無い高い干渉性や極短パルスといった質の飛躍的な向上が必要となってきている。

(2) 研究開発の経緯

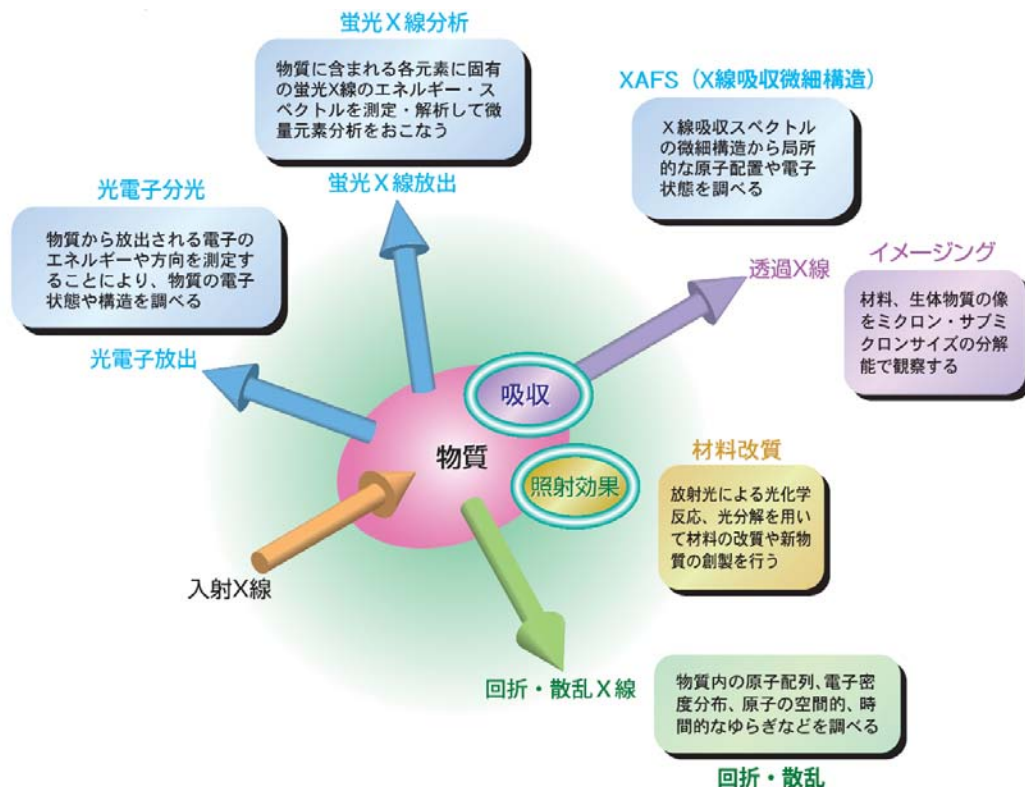
荷電粒子の加速により電磁波が発生することは、古典論でも説明される現象であり、1898年にはフランスの物理学者レナード(Lienard)が電荷の速度と加速度が直交する場合に出る光のパワーを計算している。その後1940年代にベータトロンやシンクロトロンといった新たな加速器が提案され、磁場中で運動する電子の放射損失、放射光の特性、電子のエネルギーに与える影響などが計算された。そして、1947年米国 General Electric 社の70MeV シンクロトロンで、ポロック(Pollock)らにより放射光が始めて観測された。これら1940年代における放射光研究は、加速器の設計に関係して行われていたに過ぎなかったが、1950年代に入ると分光光学用の光源としての利用が検討され始めた。モスクワ大学やコーネル大学などの研究者らが、放射光のエネルギースペクトルや角度分布などについて理論計算の検証を行い、その強度が従来の光源に比べてはるかに強く、分光光学用の光源として利用できるものと考えられるようになった。1963年には、NBS のマッデン(Madden)とコドリグ

(Codling)によるヘリウムの自動電離吸収スペクトルの写真が、放射光の分光学への応用で最初の成果として得られた。

一方、我が国においては、東京大学原子核研究所(核研)の750MeV 電子シンクロトロン(ES)が1961年に完成した。もちろんこのESは、素粒子・原子核研究用のものであったが、小塩高文(当時、大阪市立大学教授)らはこのESから出る放射光のスペクトルを計算し、1962年春の物理学会で有用な強力連続光の発生について報告した。小塩と佐々木泰三(当時、東京大学助手)は放射光の有用性を感じ、核研に光の取り出し口設置を要請し、1963年には当初計画されていなかった光の取り出し口が取り付けられ、放射光利用プログラムも正規の課題として認知された。我が国における放射光の利用研究はここに始まり、1965年には最初の成果が、軟X線領域でNaClとKClのCl-L_{II III}吸収端の吸収スペクトルとして得られた。このようにして1960年代の前半における日米の放射光利用の成功により、分光学研究による放射光の研究が活発化した。日本においても、研究者の増加に伴いテーマあたりのマシンタイムは短くなり、加速器実験に寄生した形での放射光利用実験の継続は困難となり、放射光利用専用の光源を求める研究者の声が高まった。その結果、1976年には世界初の放射光利用専用の施設である300MeV ストレージリング(SOR-RING)が完成した。当初は300MeVで100mAを蓄積するものであったが、改良により500MeVで200mAの蓄積ができるようになった。SOR-RINGは、その後1997年まで22年間共同利用が続けられた。

SOR-RINGの完成後、それまでの分光学中心であった放射光利用から、XAFS解析のような構造解析に利用するX線源としての可能性が注目され始めた(第2-3-4-1図)。X線の専用光源は、

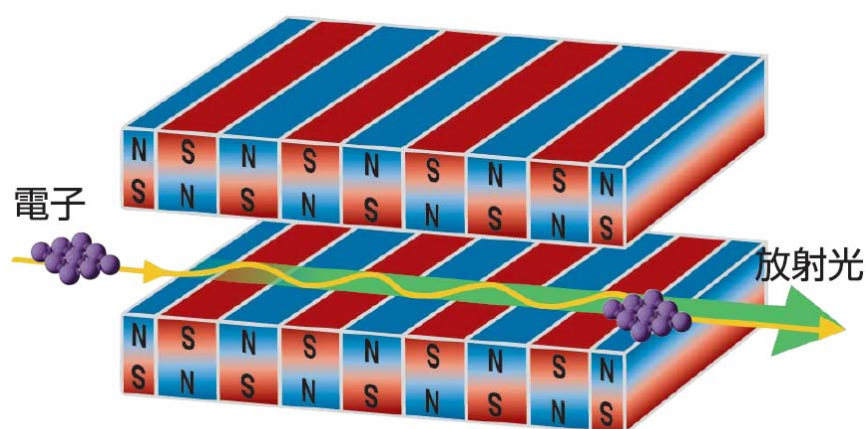
第2-3-4-1図 X線と物質の相互作用



出典: SPring-8提供

1970年代に日米欧でほぼ同時に計画され、1980年代に相次いで運転が開始された。日本では、つくばのフォトンファクトリー(PF)が1983年から共同利用を開始した。これらの施設では、X線を利用するために蓄積電子のエネルギーを2GeV程度に上げているだけではなく、1978年スタンフォード大学で開発されたアンジュレータなどの挿入光源という新たな技術が導入された。これにより、それまでの放射光の「単位立体角あたりの強度(輝度)が低い」、「広い波長域に分散している」という点を解消し、高輝度で任意の波長を選択できる単色光が得られるようになった。簡単にアンジュレータの原理を述べると、多数の磁石を極性が交互になるよう周期的に直線状に並べ、その磁場中に高速の電子を通すと、電子は正弦波に近い周期的運動をし、それに伴う放射光は互いに重なり干渉効果で軸上に高い出力と単色に近いスペクトルが得られるというものである(第2-3-4-2図)。

第2-3-4-2図 アンジュレータからの放射光



出典: SPring-8提供

挿入光源には、他にウィグラーと呼ばれる短波長で強度の高い連続スペクトルが得られるものもある。これらの挿入光源では、いずれも磁場の強度や周期長を選ぶことで、放射光の波長(エネルギー)を選択することができる。こうして、それまで得られなかったような強度のX線が利用でき、複雑な構造を持った物質の構造解析や表面・界面など局所構造の解析も可能となるなど、X線光学やX線計測技術の進歩と相俟ってX線を利用した解析手法が大きく伸展した。さらに、強度の高いX線が利用できることから、半導体やマイクロマシンの加工・製造への応用も広がった。

こうして、それまでに無い高輝度の光を得て、さらに多くの研究者が放射光施設に殺到した。しかし、より高精度な実験を目指す研究者などは、さらに高い輝度のX線光源の必要性を感じるようになった。そこで、1985年頃からは、従来の偏向磁石による放射光を利用するという考えから転換し、リングに多数のアンジュレータを入れて、その放射光を主に利用するアンジュレータ放射光を中心にした蓄積リングの検討・設計が各国で始まった。日本でも、SPring-8の建設が1991年に開始された。SPring-8は、挿入光源の利用を前提として設計され、リングの全周にわたって直線部分を導入し、またアンジュレータで得られるエネルギーをX線領域とするため8GeVの電子エネルギーを持つ大型の施設となった。1997年、X線領域において世界最高輝度を誇る大型放射光施設として完成し、国内のみならず海外の産学官研究者の共用に広く供することにより、ライフサイエンス分野やナノテクノロジー分野など、幅広い研究分野において世界的に優れた多数の研究成果を創出し、

我が国は放射光先進国の一つとして確固たる地位を築いてきた。欧米でもほぼ同時期に高輝度X線放射光施設の建設がなされ、現在、SPring-8とともに、欧州 ESRF (European Synchrotron Radiation Facility、フランス・グルノーブル)、米国 APS (Advanced Photon Source、イリノイ州・アルゴンヌ) が世界の大型放射光施設の三極を成し、互いに競合・協力しながら幅広い放射光利用研究開発を進めるに至っている(第2-3-4-3表)。

第2-3-4-3表 世界の大型放射光施設

施設名	ESRF	APS	SPring-8
設置者	欧州18カ国	米国エネルギー省	原研・理研
所在地	グルノーブル(仏)	アルゴンヌ(米)	兵庫県
電子エネルギー	6GeV	7GeV	8GeV
蓄積電流値	200mA	100mA	100mA
蓄積リング周長	844m	1,104m	1,436m
最大設置可能 BL 数	56本	68本	62本
利用開始年	1994年	1996年	1997年

出典：SPring-8などの資料を基に、科学技術政策研究所で作成

一方、1994年に SPring-8の共用を促進することを目的として施行された「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」は、その後「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」に改正され、2006年7月1日に施行された。これにより、法制上、SPring-8の運営体制が大きく変更されることとなった。SPring-8の供用業務等を行う放射光利用研究促進機構に指定されていた財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI)は、当該法改正を機に登録施設利用促進機関となり、法定業務も利用促進業務(利用者選定業務及び利用支援業務の総称)に限定されることとなった。

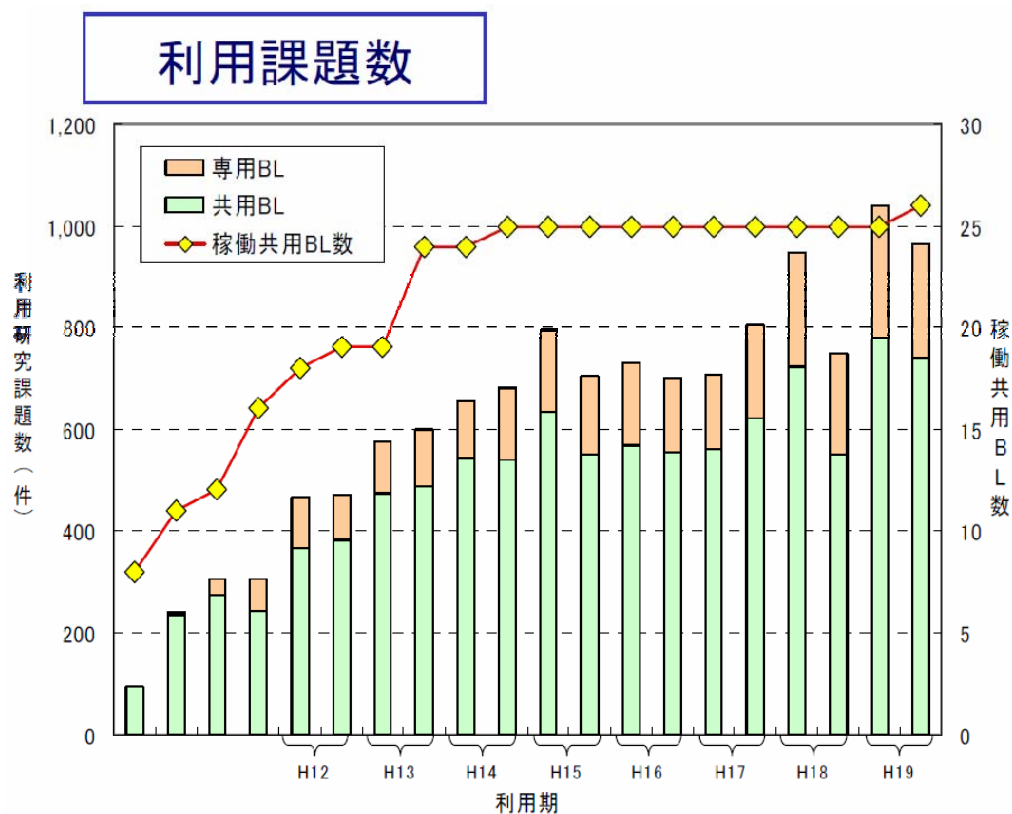
JASRIは2001年2月に「蓄積リング軌道安定化プロジェクト」を発足させ、極めて精密な放射光利用実験に必要な電子ビームの軌道安定化を目指した高度化を段階的に実施するとともに、2002年11月には、さらに高い輝度の放射光生成を可能とする蓄積リング電子ビームの低エミッタンス^(注1)化を実現した。さらに2003年10月からは蓄積リング電子ビームの時間平均輝度を大幅に向上させるトップアップ運転^(注2)を段階的に導入し2004年5月から本格的に開始した。これらの加速器に関する高度化の相乗効果により、2005年9月以降、蓄積リング電子ビームの時間平均輝度を以前の約3倍の強度で安定供給するとともに、ビームエミッタンスを水平・垂直ともに約50パーセント小さくし、水平方向で3ナノメートルラジアン、垂直方向で7ピコメートルラジアンという世界最小エミッタンスを実現するなど、利用研究環境の大幅な改善を行った。また、理研及びJASRIは、ビームラインの要素技術開発としてアンジュレータの短周期化を目指したクライオ型永久磁石アンジュレータや高温超伝導永久磁石アンジュレータの開発、SPring-8の強力な放射光に対応した高耐熱ダイヤモンド2結晶分光器の開発、高速・高精度な検出を可能とするピクセル検出器の開発等、加速器の高度化及び個別のビームライン利用ニーズに対応したさまざまな高性能化を実施しており、このよう

(注1) エミッタンスとは、電子ビームの空間的広がりを表す物理量で、ビーム進行方向(縦)とそれに直交する平面内の2軸の空間広がりを表す3種類がある。

(注2) 放射光を利用している間の電子ビームの減少を継ぎ足し入射で常時補い、一定の蓄積電流を維持するための運転方法

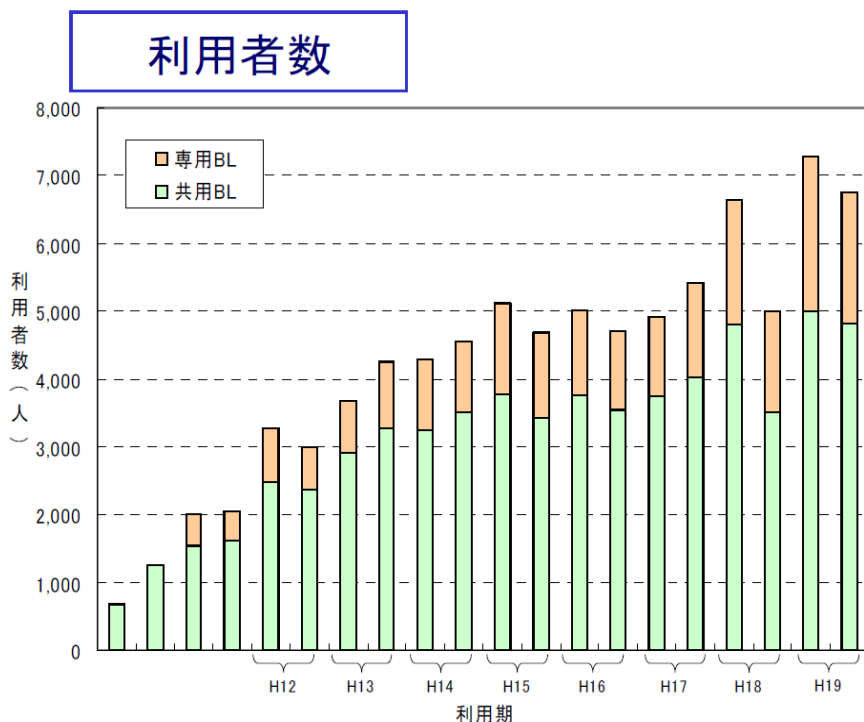
な高度化は、共用ビームライン利用者及び専用ビームライン設置者から非常に高い評価を受けている。供用開始以降2007年までの間におけるSPring-8の利用研究課題数と利用者数の推移を第2-3-4-4図と第2-3-4-5図に示す。

第2-3-4-4図 SPring-8における利用状況（利用課題数）



出典：文部科学省「J-PARC の利用方策のあり方に関する懇談会（第2回）配布資料3」2008年5月

第2-3-4-5図 SPring-8における利用状況(利用者数)



出典：文部科学省「J-PARC の利用方策のあり方に関する懇談会(第2回)配布資料3」2008年5月

具体的な成果としては、SPring-8の極めて指向性が高くかつ明るい放射光を用いることにより、ライフサイエンスの分野では、従来はタンパク質の構造解析には数百 μm 程度の結晶が必要であったものを SPring-8では厚さ10 μm 以下の超薄結晶でも迅速な構造解析を可能とし、結晶化の困難なタンパク質や再現性の悪い試料の構造解析に大きく貢献している。また、分子量数百万程度のタンパク結晶の構造解析を可能とし、チトクロームc酸化酵素のような巨大複合体タンパク質や、ウシロドプシンやカルシウムポンプのような膜タンパク質の構造・機能の解明にも大きく貢献、さらに、最先端の高速X線測定技術と極めて単色光に近い良質の光を利用し、従来構造解析が極めて難しかったタンパク質についても高精度の解析データを得ることが可能となった。一方、高い平行性を利用した新しいX線イメージング法の開発により、従来は100 μm 程度であった空間分解能がナノメートルサイズにまで向上し、生体組織や微小生物などの組織像をリアルタイムで観測することが可能となり、心臓冠状血管の微細構造の解明等が可能となった。今後、がん組織や周辺の新生血管の血流の高分解能観察など、生体組織の評価手法として期待されている。

また、物質科学の分野では、従来単結晶でなければ解明できない精密な物性研究が粉末試料で可能となったことで、100 μg 以下の微量粉末結晶を用いた結晶構造(原子配列)や電子分布の高精度で迅速な分析ができ、フラレンなどの新規ナノマテリアルの分子構造決定や、超伝導体や磁性体の発現機構の解明などが可能になった。さらに、高い平行性と透過性を利用することで数 nm の磁性薄膜が7層も積層された記録読取り用素子の構造を、0.1nm の精度で非破壊計測することが可能となり、電子デバイス用ナノ薄膜の原子層オーダーの精密構造解析が実現され、エレクトロニクス用新材料開発や薄膜の新機能発現機構の解明が期待されている。

また、ダイヤモンドの圧力容器を透過する高エネルギーX線を用いることで、100万気圧以上の

高圧下でのX線結晶構造解析が可能となり、地球深部における高温高圧下の岩石の結晶構造が明らかになり、地球や惑星の起源解明や、地震予知の基礎データとしての利用も行われている。

さらに、高輝度、高い平行性及び高エネルギーX線といった特徴を総合的に利用することで、微量元素分析の分野においても、蛍光X線分析の検出感度が従来の ppb(10億分の1)から ppt(1兆分の1)レベルに飛躍的に向上し、半導体素子、エアロゾルや生物試料などで1fg(千兆分の1グラム)程度の超微量元素分析と同時に、ウランなどの重元素を含む殆ど全ての元素の分析が可能となった。また、X線マイクロビームの使用により、100nm の空間分解能の元素分布図を作成することが可能となり、微小生物やエアロゾルにおける金属元素の分布を詳細に決定することができるようになった。これらの非破壊分析技術は、環境科学、考古学、微量分析による鑑定技術など、幅広い技術分野でその発展に寄与している。このように SPring-8は、ライフサイエンス、ナノテクノロジー材料開発、環境科学など、今日の先端科学技術における極めて重要なキーテクノロジーにおける貢献が期待されている。

ところが、その後 SPring-8や欧米での同種施設での高輝度X線の利用経験から、コヒーレントX線の利用が今後の科学技術のフロンティアを拓く強力なツールとなることを多くの研究者が共通の認識として持つようになってきた。また一方では、放射光を利用した研究成果の量的拡大、質的向上が進むにつれ、研究者の間から、さらに性能の高い光、より強力な、より絞られた、よりパルス幅の短い、より干渉性の高い光への要求が高まってきている。また、レーザーを利用する研究分野においても、現在、可視光～紫外線領域で確立している超短パルス、高強度技術をX線領域まで拡張し、より微細なレベルでより高速な動態・変化を観察したいとの要望が高まってきている。このためにコヒーレントX線源としてのX線自由電子レーザーが注目されはじめ、欧米では既に施設建設が進められている。このような欧米での進歩に対して遅れることなく我が国の放射光科学の水準を維持するために、理研によるX線自由電子レーザー(XFEL:X-ray Free Electron Laser)の計画が2006年より開始された(第2-3-4-6表)。

第2-3-4-6表 世界の XFEL 開発計画

施設名	SLAC	XFEL	European XFEL
設置者	米国エネルギー省	理研	欧州11カ国
所在地	カリフォルニア(米)	兵庫県	ハンブルグ(独)
電子エネルギー	14GeV	8GeV	10-20GeV
発振波長	0.15nm	0.06nm	0.085nm
全長	4km	0.7km	3.4km
総建設コスト	6.15億ドル以上	369億円	9.08億ユーロ
運転開始年	2009年	2010年	2014年

出典：総合科学技術会議 評価専門調査会「X線自由電子レーザーの開発・共用」第1回評価検討会(2005年9月22日)配布資料他を基に、科学技術政策研究所で作成

自由電子レーザー自体は、1970年代に実証試験がなされ、既に、赤外～可視光領域において多数の装置が開発されている。これらの装置では、レーザー共振器として全反射ミラーを対向して用いているため、直入射全反射ミラーが存在しないX線領域で自由電子レーザーを実現することは困難と思われていた。しかし、近年、対向する全反射ミラーで光を往復させる代わりに、超長尺化し

たアンジュレータ光源によって共振を行わせる自己増幅自発放射原理が見出され、これによって XFEL 実現への道が拓かれた。なお、自己増幅自発放射原理によって得られるコヒーレント光は、SPring-8で行われている研究分野を全てカバーするものではなく、汎用的な光源としての蓄積リング型光源は今後もその重要性は変わらない。実際、SPring-8を見ても明らかなように、放射光分野におけるある時点での最先端計測技術は、いずれ汎用計測技術になり、産業界を含めた多数の研究者に利用されるようになっていく。したがって、XFEL 施設の完成により、最先端手法開発型研究の多くが蓄積リング型光源からX線自由電子レーザーに移行することが予想されつつも、蓄積リング型光源との相互利用による相乗効果により、従来には無い新たな放射光利用研究の開拓等が期待される。

我が国の XFEL 計画の大きな特徴は、日本独自の技術でコンパクト化と低コスト化を実現し、欧米の計画の数分の一のスケールで同等以上の性能を目指している点である。理研は、2000年に XFEL の開発コンセプト(コンパクト、低コスト)を創案し、続いて2001年度から、コンパクトな XFEL を目指した要素技術開発が5カ年計画で進められた。その結果、CeB₆(セリウムボライド)単結晶を1500℃まで加熱し、輝度が高く、広がり小さくエネルギーの揃った高品質の電子ビーム源を実現した。また、加速器では高エネルギー加速器研究機構(KEK)の「C バンド加速器」の技術を利用し37MV/m という従来の2倍以上の加速電界が可能になり、短距離でも有効な小型加速器が実用化された。さらに、真空中に永久磁石を入れることで、強力な磁場を電子ビームに与えることができ、効率よく光を発生させることができる SPring-8で開発された「真空封止型アンジュレータ」の技術が利用された。このほかにも、我が国 XFEL 計画には多くの日本独自の技術が活かされており、民間メーカー各社の寄与も大きい。

本計画については、2005年6月から8月にかけて、科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 研究評価部会の下に設置された次世代放射光源計画評価作業部会において事前評価が行われ、「本計画は積極的に進めるべきものであり、早期に着手すべきである」との結論が得られ、また、総合科学技術会議においても事前評価が行われ「本計画を実施することが適当」とされた。これらの結果を踏まえ、2006年度から理研において本計画が開始され、これまでに装置の研究開発や製作、関連施設の建設等が進められている。XFEL は、従来の放射光X線と比べピーク輝度において10億倍という超高輝度で、100フェムト秒以下の高速な動態・変化を捕捉し、コヒーレントな光によって原子・分子レベルでの超微細構造を精密に解析することが可能となる。

2004年に設計を始め、翌年建設を開始したプロトタイプ機は、全長60m、加速エネルギー0.25GeV、レーザー波長49nm のもので、2007年にはレーザー発振に成功している。このプロトタイプ機の主な目的は、高品位電子ビーム生成の確認、アンジュレータによるレーザー光生成の試験など、実機の建設に向けた各種の研究開発を行うことであるが、例えば加速器の入射部の設計などにおいて、その成果が利用されている。さらに、プロトタイプ機は、波長約50nm の真空紫外線レーザー光源としてユーザーの利用も始まっている。

主要機器の内、電子ビームを生成する電子ビーム入射系、及びそれを加速する加速管等については既に実機の製作に入っている。レーザーの発生・増幅を行う装置であるアンジュレータについても研究開発が終了している。アンジュレータと計測装置をつなぐ光学系については、XFEL 光源の特性を踏まえ、コヒーレントな波面を乱さないためのスペックルフリー光学系、外部機器に対し高精度の時間同期を可能にするためのフェムト秒タイミング伝達システム等の研究開発が進められている。さらに、超平坦ミラーの活用によりエネルギースペクトルをシングルショットで精密計測する

ためのシステムが開発され、従来の2桁高い分解能(光子エネルギー10keV において13.1meV)が達成された。このパルス毎の光特性診断はXFEL の利用実験にとって重要なものである。

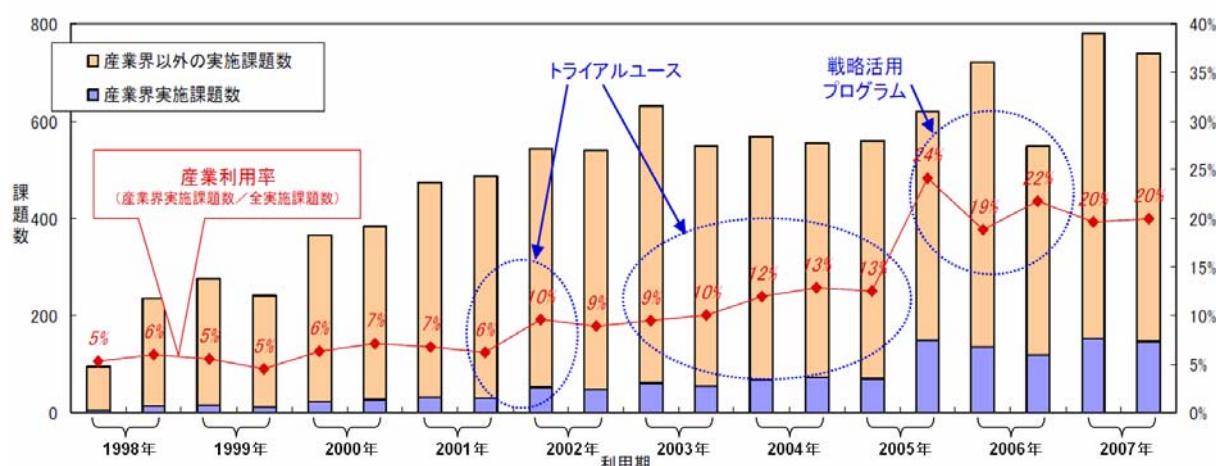
建屋等についても計画通り建設が進められている。XFEL ビームを安定して供給するために、各機器をミクロンオーダーの精度で保持することが必要とされる。このため、地盤の強度を確保するための杭打工事や砕石置換等が行われ、2008年度中には加速器やアンジュレータを収納する建屋が完成する予定であり、機器を設置するための準備作業が開始されることになっている。さらに、共同実験棟・共同研究棟やXFEL のリニアックからSPring-8 に電子ビームを入射するための電子ビーム輸送系トンネルについても、2008年度中に着工し、XFEL の試運転が開始される2010年度半ばまでには完成の予定である。

(3) 科学技術成果のインパクト

① 経済的インパクト

JASRIにおける2000年度のコーディネーター制度導入、2001年の産業利用に特化した共用ビームラインの稼動、2005年度の産業利用推進室の設置などの施策により、SPring-8の産業利用は年々拡大し、共用ビームラインにおける産業利用の割合(民間企業の実験責任者が実施した利用研究課題数の全課題数に占める割合)は約20%となった。また、専用ビームラインを含めると、2007年度の利用研究課題実施企業数は約180社に及び、それら企業所属の来所者数は2,500人を超えている。SPring-8は幅広い分野における科学技術インフラであり、分析・解析装置であることから、成果の具体的な数値化自体が困難であるだけでなく、企業から成果の具体的な数値が公表されない場合が殆どであることから、直接的な経済的インパクトを評価することは困難である。しかし、JASRIから公表されている事例^(注)から、半導体素子や材料の評価手法の開発に貢献しているのみならず、自動車用触媒、スタッドレスタイヤ、シャンプーやコンディショナーなど多くの身近な商品開発にも生かされている事実が理解できる。第2-3-4-7図にSPring-8の共用ビームラインにおける産業利用の状況を示す。

第2-3-4-7図 SPring-8における利用状況(産業利用の状況)



出典: 文部科学省「J-PARC の利用方策のあり方に関する懇談会(第2回)配布資料3」2008年5月より、科学技術政策研究所にて作成

(注) (独)理化学研究所、(財)高輝度光科学研究センター「SPring-8 産業利用成果」パンフレット

②社会的インパクト

環境汚染物質の各種試料中の微量元素分析など、また、エネルギー分野では、二次電池における充放電に伴う劣化のメカニズムの解明や燃料電池用電極の反応解析・水素急増材料の構造解析・内部応力解析など、幅広く利用されている。

③国民生活へのインパクト

もっとも身近に感じられているのは、犯罪捜査への応用であると思われる。特に、1998年に和歌山県での亜ヒ酸を使った殺人事件で、犯行に使われた亜ヒ酸と警察が押収した亜ヒ酸に含まれる極微量の不純物を SPring-8における蛍光X線分析で同定し、異同識別されたことは、広く社会に知られている。このように試料中の極微量成分の精密分析が可能となり、例えば衣服に付着した0.5mgという微細ガラス片の異同識別などにより犯罪捜査では多くの成果を上げている。また、創薬ターゲットタンパク質の構造解析などは新薬の開発に活用されており、疾病・疾患の克服にも貢献しているものと考えられる。

(4)政府の果たした役割

SPring-8は、当初より産学官の広範な分野に亘る国内外の多くの研究者等による利用を目的として、原研(当時)及び理研により、兵庫県の播磨科学公園都市に建設された研究施設である。その施設の建設費は約1,100億円、年間の運営費は約90億円(2008年度予算)である。現在、その運営は施設所有者である理研と、1990年に設立された JASRI の二者体制で行われている。

この間、1994年には「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」が施行されたが、これは、SPring-8の共用を促進することを目的とし、政府に利用者支援と共用促進のために必要な措置を講じることを責務として定め、共用業務を原研、理研の業務として定めるとともに、その業務を放射光利用研究促進機構(JASRI が指定されていた)に代行させること等を規定していた。その後、独立行政法人日本原子力研究開発機構の発足に伴い、2005年10月からは施設所有者が理研に一本化され、SPring-8の運営は理研及び JASRI の二者体制となった。さらに2006年7月からは「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」を一部改正した「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」(以下、「共用法」という。)が施行され、従来理研の運営費交付金で賄われていた運転に関する経費を共用法に基づく補助金とした。これは、それまで独立行政法人である理研の経営全体の判断や状況に影響されたこれらの経費を政府が目的を限定する形で手当てすることで、SPring-8の安定的な運転を確保することを目的としたものである。

一方、社会経済情勢の変化に対応したスリムで効率的な政府を実現するため、国の代行事務及び事業の見直しを行うという公益法人改革を踏まえ、従来の「放射光利用研究促進機構」を指定する制度から、一定の条件を満たした申請者を「登録施設利用促進機関」(以下「登録機関」という。)として登録する制度に改めた。このように、SPring-8の共用を促進すると共にその効率的運用を図るために、共用法と JASRI の存在は大きく役立っている。

また、SPring-8に関し、その共用促進、研究開発、そして施設運営の観点から科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会による2回の中間評価が行われ、中間評価報告書の形にとりまとめられている。そこでこの提言を受け、より優れたより多くの成果が上げられるように運営システムや運営組織の改革等が行われている。さらに、理研と JASRI は、国際諮問委員会や国際評価委員会を設置し定期的に評価を受けることで、継続して運営等の改善を図っている。

このように、単に施設を建設・整備し運営費を政府が負担するだけではなく、共用施設の本来の目的を見据えた運営システムや共用施設のあり方などを常に外部から評価し改善していくことで、大きな投資を本当に意味のあるものにできるものである。今後も、運営の公平性や透明性と共に効率化を両立させ、多くの成果が得られるよう継続した改善が行われると共に、他の共用施設の範となることが期待される。

SPring-8を超えるコヒーレンス・ピーク輝度・パルス幅を持ったX線領域のレーザー光源を提供するために計画された理研のXFELプロジェクトは、当初の計画ではプロジェクト総費用として375億円(2006～2010年度)が上げられている。本計画は、2005年には科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 研究評価部会の下に設置された次世代放射光源計画評価作業部会において事前評価が行われ、また総合科学技術会議においても事前評価が行われ「本計画を実施することが適当」とされた。これらの結果を踏まえ、第3期科学技術基本計画では、国家基幹技術として位置づけられ、2006年度から理研において計画が進められている。また、装置完成後直ちに本格的な利用研究を実施し多数の先端的研究成果を創出するため、2006年2月にはX線自由電子レーザー利用推進協議会が文部科学省研究振興局に設置された。協議会には、放射光科学、ナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス、レーザー科学等の分野の学識経験者、産業界からのメンバーのほか、光源開発との連携を図るためにプロジェクトの実施主体である理研の研究者も参画している。また協議会の下には、利用推進方針策定プロジェクトチームと利用推進研究課題選考・評価プロジェクトチームが設置され、前者においては利用推進研究を効果的・効率的に実施するための利用推進方針の策定が、後者においては利用推進研究課題の選定、実施課題の進捗状況の把握等がそれぞれ行われ、開発と共に完成後の早期立ち上げと成果創出を目指した活動が行われている。

(5) 今後の展開

SPring-8においては、世界最高性能を維持するためにさらなる高度化を図る必要がある。放射光測定装置技術については、高感度・高空間・高時間分解能検出器開発や測定技術の自動化など、放射光源技術ではさらなる低エミッタンス化や硬X線領域におけるサブマイクロからナノサイズのビーム集光技術開発を行う必要がある。一方、利用研究促進策や産業利用促進策の効果により、利用者数や利用研究課題数は増加が続いているものの、厳しい予算状況を踏まえると今後は運転時間の大幅な増加は難しい。ただし、そのような状況においても、多くの優れた成果を創出することが求められており、その方策の検討が重要となる。

XFEL で画期的な成果を創出するためには、コヒーレンス、フェムト秒時間分解能、大パルス強度等の特長を活かし、幅広い分野で本装置でしか実現できない研究開発を進めることが重要である。こうした研究分野としては、現在、利用推進研究を行っている化学反応の素過程追跡を行う反応化学、創薬の開発に繋がるタンパク質機能解明を行う構造生物学、極小デバイス磁化挙動解析のための回折スペクル計測の開発のほか、X線天文学、光核物理、非線形光学、量子光学をはじめ、エネルギーや医療分野を含めて幅広い分野が考えられる。こうした観点から、現在行われているナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス分野に加え、レーザー科学等の関連分野のコミュニティとも十分連携をとっていくことが重要である。さらに、SPring-8 に隣接しているというメリットは、欧米のXFEL計画にはない特長であり、これを活かした独創的な利用研究の在り方についてもさらに検討を続ける必要がある。こうしたことから、レーザー科学をはじめとする広範な分野の研究者や実

験系のみならず理論系の研究者が利用推進研究の推進に参画できるシステムを構築するとともに、現在研究が行われていない分野の課題や長期的に対応する課題等も含めた戦略的な利用推進研究の在り方について検討することが必要である。その際、リング型放射光施設と比較した XFEL の相違点、例えば、パルス光の繰り返し安定性、利用可能なビームライン数、実験技術の斬新さなどをどのように考慮していくかについても検討すべきである。また、利用推進研究における主要な分野とされているナノテクノロジー・材料分野やライフサイエンス分野においては特にその進展が速いので、各課題についての評価は毎年実施し最新の進展が反映されるようにしなければならない。さらに、理研は、装置の開発のみならず、その活用においても、広範な分野の研究者を有する自然科学の総合研究所として、XFEL の新しい利用方策について率先して検討することが求められる。そうすることで、現在期待されている分野に止まらず、新たな分野における画期的な成果の創出も期待される。

さらに、今日の科学技術の発展のスピードは著しく、基礎科学と応用技術の両分野は同時並行的に推進する必要がある、研究の初期の段階から産業界と学界の協調体制を構築することで、早い段階での産業分野への利用も期待される。そのため、現在の利用推進研究課題の状況や XFEL プロトタイプ機における成果等の情報を産業界にも適切に発信し、産業界における利用の機運を高めていくことが重要である。

(6) 参考文献

- ・ 文部科学省「大型放射光施設 (SPring-8) に関する中間評価報告書」2002年9月
- ・ 文部科学省「大型放射光施設 (SPring-8) に関する中間評価報告書」2007年7月
- ・ (独)理化学研究所、(財)高輝度光科学研究センター「SPring-8産業利用成果パンフレット」
http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/publications/industrial_application_brochure/
- ・ 総合科学技術会議「X線自由電子レーザーの開発・共用」第1回評価検討会(2005年9月22日) 配布資料
- ・ 文部科学省「X線自由電子レーザー計画中間評価報告書」2008年8月
- ・ 佐々木泰三, 放射光, 11(2), 82(1998)「放射光研究50年の回顧と展望」
- ・ 佐々木泰三, 固体物理, 22(12), 1007(1987)「日本と世界の放射光研究-回顧と展望-1」
- ・ 石川哲也, 構造生物, 11(1)(2005)「SPring-8でのコンパクト X 線自由電子レーザー計画」
- ・ 石川哲也ら, 真空, 49(11), 678(2006)「SPring-8における X 線自由電子レーザー計画」
- ・ 江尻有郷, 日本物理学会誌, 61(11), 835(2006)「放射光利用研究40周年と学術会議放射光科学小委員会」
- ・ 新竹積, 文部科学時報2007年2月号, 42(2007)「XFEL における日本の独自開発技術の結集」
- ・ 石川哲也ら, 科学と工業, 81(8), 394(2007), 「SPring-8放射光と X 線自由電子レーザーで加速する産業利用」
- ・ 文部科学省「J-PARC の利用方策のあり方に関する懇談会(第2回)配布資料3」2008年5月

5. 事例5 次世代蓄電システム(自動車用・自然エネルギー用)

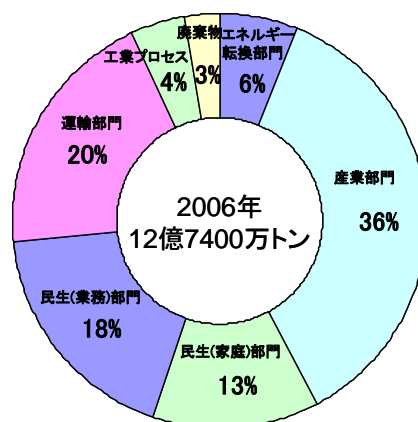
(1)事例の背景

人類は過去に大きな革命を3度経験し、経済活動を大幅に飛躍させてきた。過去の3度は農業革命(人類の定着、食料の生産計画を可能にした)、産業革命(蒸気機関の発明で人力に代わる動力源を得たことにより、社会は農業社会から鉱工業社会へと移行)、そして現在も進行しているIT革命(情報通信技術の進展が情報と知識が付加価値の源泉となり、社会経済構造を大きく変化させようとしている)である。

これら3度の革命は、各々第一産業、第二次産業、第三次産業の発展を促したが、エネルギー革命は新たな産業の創出とともに、IT革命と同じく全ての産業活動に大きく関係し、多くの産業分野での構造変化を促すものとなる。このエネルギー革命の主役が蓄電システムである。太陽電池、二次電池、燃料電池などを利用した蓄電システムは大きな技術進展を見せており、今後の社会・経済を大きく変える可能性を秘めている。このため、米国を始めとする主要国においてエネルギーを中核としたグリーン・ニューディール政策が取られようとしている。

環境保護の視点からCO₂の排出制限は京都議定書に見られるように世界的に大きな課題であり、先進国を中心に産業分野、民生分野などあらゆる分野での省エネが進展しつつある。その中でも我々の生活に密着している運輸部門は日本全体のCO₂排出量の約20%を占めている(第2-3-5-1図)。

第2-3-5-1図 日本の部門別二酸化炭素排出量の割合(各部門の間接排出量)



注：部門別排出量には直接排出量と間接排出量がある。直接排出量は、発電に伴う排出量をエネルギー転換部門からの排出として計算したもので、間接排出量は、それを電力消費量に応じて最終需要部門に配分して計算したもの。

出典：温室効果ガスインベントリオフィス「日本の1990～2006年度の温室効果ガス排出量データ」2008年7月9日

運輸部門のCO₂排出量削減対応としては、エコカーの開発が進んでいる。このエコカーの代表例がハイブリッド自動車(HEV)であり、将来的には100%電気エネルギーだけで走る電気自動車(EV)である。HEV及びEVにおける最重要部品・装置が蓄電システム(バッテリー)である。既存のガソリンエンジン車などにもバッテリーは搭載されているが、このバッテリーは自動車の電気系統のエネルギー源であり、エネルギー容量も小さく、自動車そのものを動かす力はない。このため、HEVやEVでは従来のバッテリー(鉛蓄電池)に代わる新しいバッテリーが必要となる。自動車自体を電気エネルギーで走らせるためにはエネルギー密度や出力密度を大幅に向上させることはもちろん、コストも大幅に引き下げる事が重要となる。

(2) 研究開発の経緯

自動車用、自然エネルギー用(分散電源用)二次電池としては各種あるが、実用化で先行している二次電池は主に2つである。自動車用はハイブリッド車用にNi-MH(ニッケル水素)電池が既に実用化され、100万台以上のハイブリッド車が世界で走行している。一方、分散電源用ではNAS(ナトリウム硫黄)電池が実用化されており、風力発電の蓄電装置として利用されている。各電池のメリット、デメリットは第2-3-5-2表のとおりであるが、世界的に技術開発に最も力が入れているのはリチウムイオン電池である。

以下では過去における開発変遷とともに、国のプロジェクトを中心にしたリチウムイオン電池の開発動向と新規二次電池の開発動向を述べる。

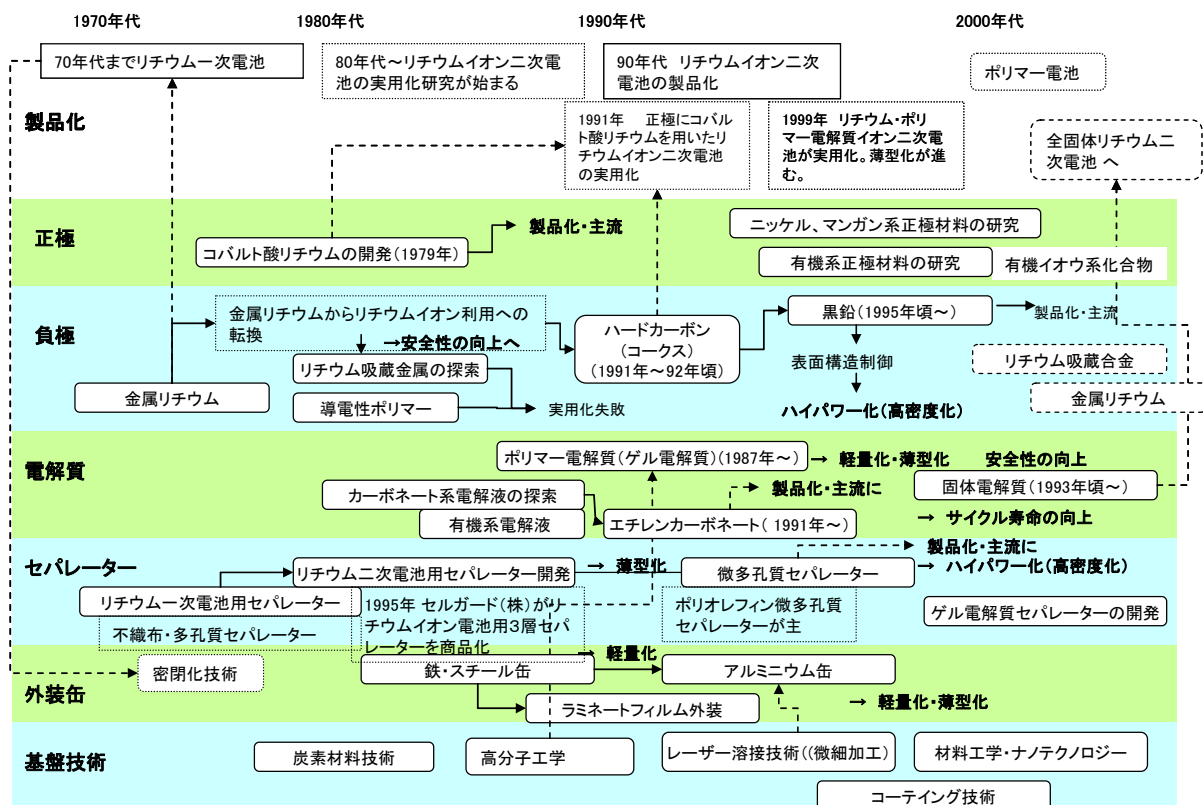
第2-3-5-2表 自動車用、分散電源用電池の主な種類

	NAS電池		レドックス・フロー電池		ニッケル水素電池		リチウムイオン電池	
コスト	安		高		高		高	
容量	中～大		中～大		小～中		小～中	
メリット	低コスト、長寿命		大容量		安全性、メンテナンス性、高出力		安全性、メンテナンス性、高出力	
デメリット	高温動作のためメンテナンス性に難		メンテナンスに難 高コスト		高コスト、大容量化が課題		高コスト、大容量化が課題	
開発状況	実用化	－	試験中	－	試験中	実用化	試験中	一部実用化

*:開発状況は左欄が分散電源用、右欄が自動車用

出典:(株)三菱総合研究所作成

第2-3-5-3図 材料開発を中心としたリチウムイオン電池の開発変遷



出典：科学技術政策研究所 NISTEP Report No.89「科学技術振興による経済・社会・国民生活への寄与の定性的評価・分析」2005年

材料開発を中心としたリチウムイオン電池の開発変遷を、第2-3-5-3図に示す。第2-3-5-3図の開発変遷を支援したものとしては、第2-3-5-4表に示すような3つの二次電池関連プロジェクトがあり、経済産業省を中心として実施された（一部継続実施中）。

第2-3-5-4表 二次電池に係わる国家プロジェクト

プロジェクト名	実施期間	研究開発内容	研究開発費		
			計	国家予算	民間資金
分散型電池電力貯蔵技術開発	1992-2001	負荷平準化を目的とした「定置型」及び電気自動車の実用化を目指した「移動体用」の2種類の技術開発	約172億円	約172億円	0億円
燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発	2002-2006	高性能リチウムイオン電池開発のための基礎材料として正極材、負極材、電解質の技術開発	約74億円	約51億円	23億円
次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発	2007～2011	<ul style="list-style-type: none"> 要素技術開発：電池構成材料の高性能化、低コスト化 次世代技術開発：経済性、性能面でのブレークスルーが期待できる新しい材料（正極、負極、電解質等）や新しい電池系（合金系、金属系等）の基礎研究開発 基盤技術開発：蓄電池における寿命予測、耐久性、安全性試験方法の確立や標準化等 	約44億円（H19,20年度の2年度分）	-	-

出典：(株)三菱総合研究所作成

また、経済産業省が設置した「新世代自動車の基礎となる次世代電池技術に関する研究会」は2006年8月に「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」を発表している。同提言による次世代自動車用電池の研究開発戦略のアクションプランは第2-3-5-5図に示すように、改良型電池、先進型電池、革新型電池の3つのフェーズから構成されており、第2-3-5-4表に示した国家プロジェクトでは「分散型電池電力貯蔵技術開発」と「燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発」が改良型電池に相当し、「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」が先進型電池と革新型電池に相当する。

第2-3-5-5図 改良、先進、革新の3フェーズによる研究開発戦略

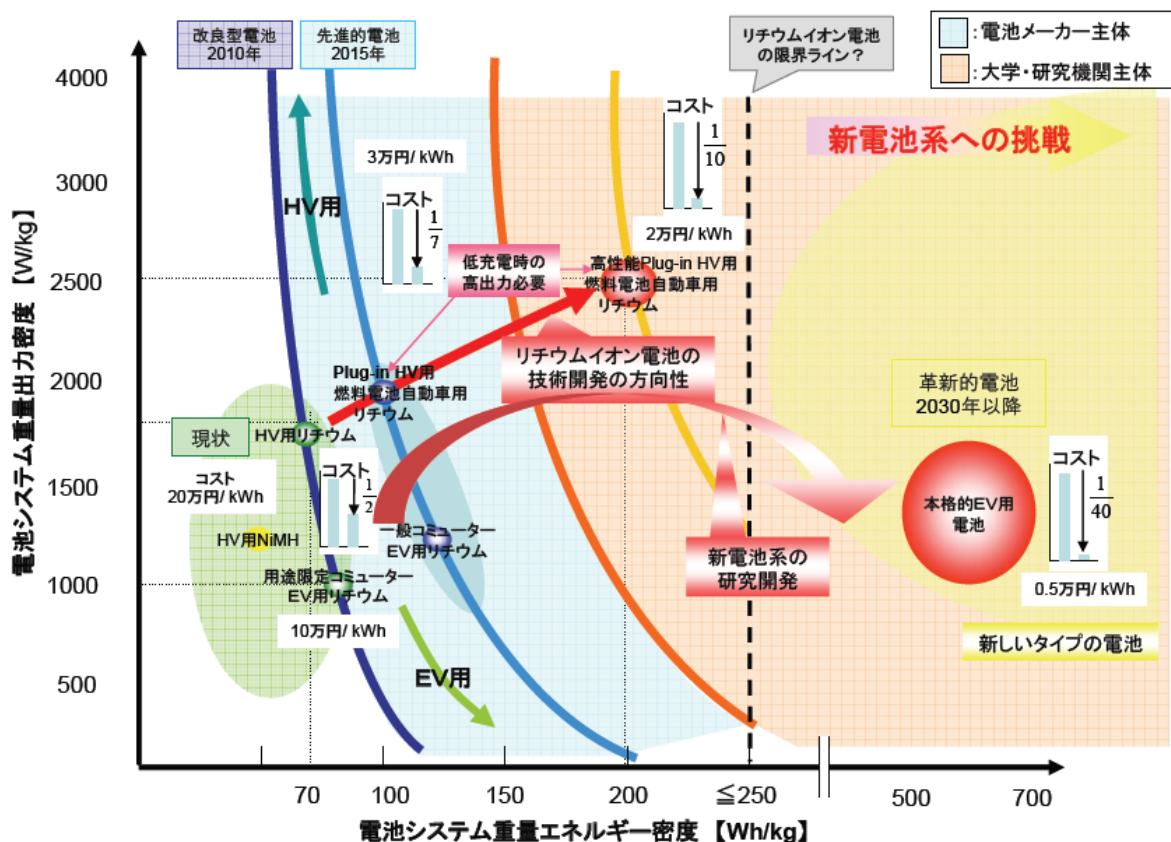
	現状	改良型電池 (2010年)	先進型電池 (2015年)	革新的電池 (2030年)
	電力会社用小型EV	用途限定コンピューターEV 高性能HV	一般コンピューターEV 燃料電池自動車 Plug-in HV自動車	本格的EV
性能	1	1	1.5倍	7倍
コスト	1	1/2倍	1/7倍	1/40倍
開発体制	民主導	民主導	産官学連携	大学・研究機関

出典:「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」(新世代自動車の基礎となる次世代電池技術に関する研究会)2006年8月

改良型電池と先進型電池では既存のリチウムイオン電池の性能向上が主眼であり、リチウムイオン電池を構成する主材料である正極材、負極材、電解質の3材料に焦点を当てた開発がなされている。特に電極材料はリチウムイオン電池の性能を大きく左右するものであり、既存材料の改良とともに、新規材料開発もテーマとなっている。

改良、先進、革新の3フェーズで定められた開発戦略における開発目標を第2-3-5-6図に示す。

第2-3-5-6図 改良、先進、革新の3フェーズで定められた開発戦略における開発目標



出典:「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」(新世代自動車の基礎となる次世代電池技術に関する研究会)2006年8月

現在のリチウムイオン電池は、①遷移金属酸化物(コバルト系、マンガン系、ニッケル系酸化物、その他)あるいは、②オリビン系(リン酸鉄等の遷移金属)を正極とするものの2系統が実用化されているが、この両方とも英国オックスフォード大学教授のグッドイナフ(Goodenough)により開発されたものである。この正極材の開発経緯の概要を第2-3-5-7表に示す。

第2-3-5-7表 リチウムイオン電池の正極材の開発経緯

- ・ 1979年-1981年、オックスフォード大学のグッドイナフ教授と、日本の水島公一が、遷移金属酸化物(コバルト系、ニッケル系)にリチウムイオンが可逆的に脱挿入されることを発見(1981年特許化)。これがリチウムイオン電池系の発明と考えられている。
- ・ 1983年頃にグッドイナフとサッカレーがマンガン系酸化物(スピネル)が可逆的にリチウムの脱挿入されることを発見。
- ・ 1990年代初め、グッドイナフはオリビン系(リン酸鉄)を発見。

出典:(株)三菱総合研究所作成

一方、負極材は現在に至るまでカーボンを主体とする材料のみが実用化されている。シリコン系、その他、リチウム吸蔵可能な材料に関して、鋭意世界で研究開発がなされているが、実用化には

至っていない。

以上のような研究開発経緯において、基礎材料開発は第2-3-5-4表に示した国家プロジェクトの中で「燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発」プロジェクトを中心に行われてきた。同プロジェクトで開発された主な材料を第2-3-5-8表に示す。

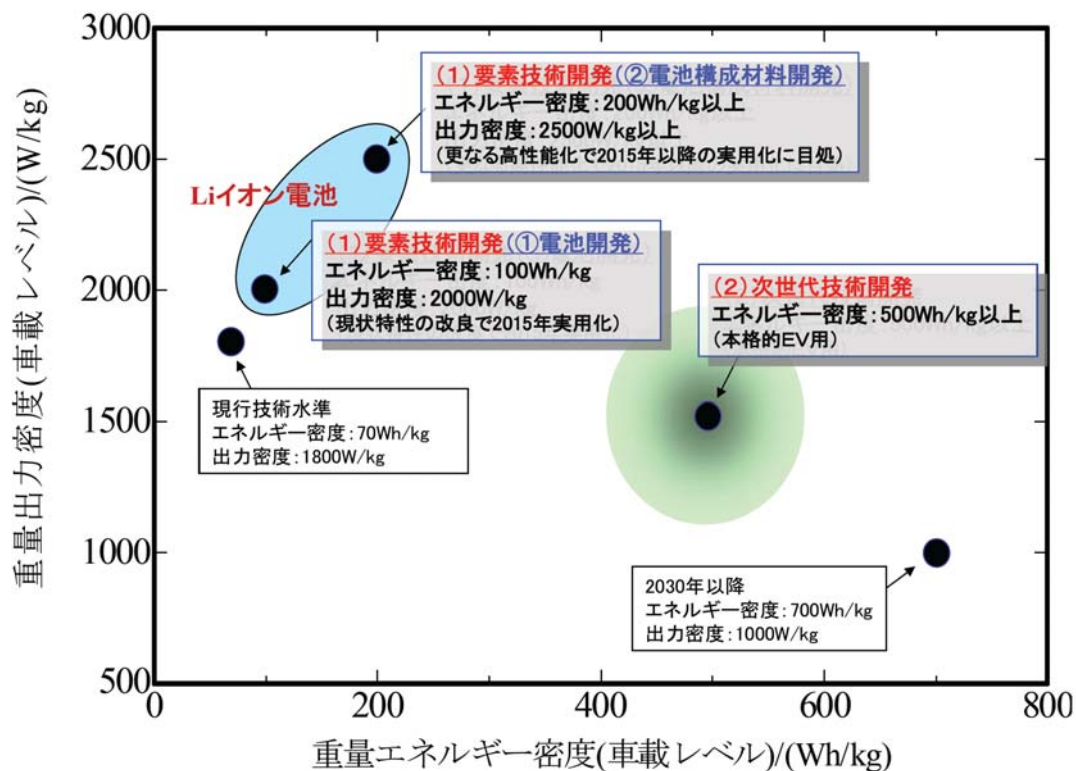
第2-3-5-8表 国家プロジェクトで開発された主な材料

開発者	開発内容
松下電池工業(株) (現:パナソニック(株)エナジー社)	<ul style="list-style-type: none"> ・ CoおよびAl を置換、固溶したニッケル酸リチウムをベースに、活物質合成プロセスの改良により一次粒子径を大粒径化することで30%以上の高出力化を図った。 ・ 負極活物質については、難黒鉛化性炭素に代えて、高率パルス充放電サイクル寿命特性の向上を主に、黒鉛化途上の易黒鉛化性炭素であるICOKE を新規に開発した。
(株)ジーエス・ユアサコーポレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・ 正極材料は、既存のコバルト系のものに代わる新規材料の探索および開発を進め、特に、低コスト化に優位なマンガン系(Li1.1Mn1.9O4)、高出力化に優位なニッケル系(LiNi0.8Co0.2O2)、および両者の特性を引き出せる複合系(LiNi0.55Mn0.30Co0.15O2)等に注力して、本用途に最適なものを開発した。 ・ 負極材料は、炭素材料の最適化やこれに代わる新規材料の開発を進め、炭素材料の中でも、ハードカーボン(難黒鉛化性炭素)や低温焼成のソフトカーボン(易黒鉛化性炭素)などの非晶質炭素が総合的な性能に優れる負極活物質であることを確認している。
(独)産業技術総合研究所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新規ベースメタル系正極材料の探索を行い、ナトリウム化合物を出発原料とした低温溶融塩中でのイオン交換合成法により、新規4V級正極材料であるLi0.44Mn1-yTiyO2 の開発に成功している。

出典:(株)三菱総合研究所作成

また、2008年度から開始された「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」では第2-3-5-9図に示すように既存リチウム電池のさらなる性能向上を目指しての正極材、負極材、さらには電解質の研究開発が進められ、エネルギー密度と出力密度の向上を図る予定となっている。また、同プロジェクトでは革新的な二次電池開発を目指して、金属-空気電池、リチウム空気電池の開発も行われる計画である。

第2-3-5-9図 「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」の開発目標



出典: 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」の概要

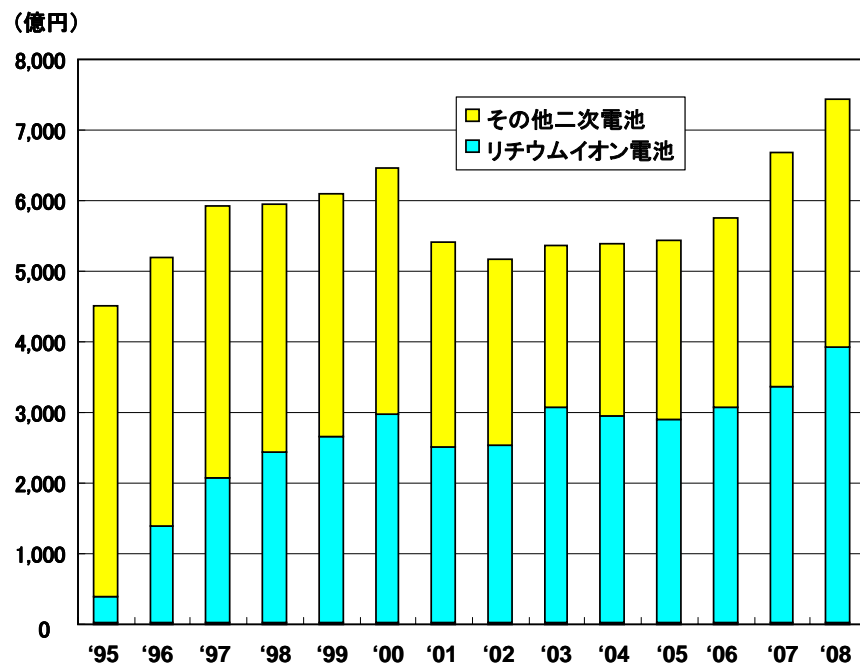
(3) 科学技術成果のインパクト

① 経済的インパクト

日本のリチウムイオン電池の生産高を第2-3-5-10図に示す。日本の生産高は世界一であり、リチウムイオン電池の製品化にいち早く成功した結果が出ているが、韓国、中国によるアジア諸国の追い上げは激しく、1998年には世界生産シェアが100%であったが、現在の世界生産シェアは約50%まで低下しており、安泰という状況にはない。

また、現在のリチウムイオン電池は携帯電話、ノートパソコンなどの携帯情報機器向けが中心であり、大容量が必要な自動車用等向けはほとんどない状況である。しかし、単価の高い自動車用などの大容量リチウムイオン電池の生産が本格化することによって、リチウムイオン電池の生産高は飛躍的に伸長することが期待されており、その波及効果は非常に大きくなるものと推測される。

第2-3-5-10図 リチウムイオン電池の国内生産高推移



出典：経済産業省「機械統計年報」より(株)三菱総合研究所作成

②社会的インパクト

世界は環境保護の観点から低炭素社会へ移行しようとしている。このためには、極力化石燃料を使用しない社会を構築する必要がある。このためには自動車では脱化石燃料エンジンであり、発電では再生可能エネルギー(太陽光発電、風力発電等の自然エネルギー)の割合を増加させることとなる。このような社会を構築するためには、既存のエネルギー源を将来的には凌駕する必要があり、現在はその過渡期にあるとも言える。次世代及び革新的な蓄電システムが開発され、広く社会で利用されることによって、我々の社会は炭素フリーの社会となり、地球に優しい社会を構築できることになる。

③国民生活へのインパクト

リチウムイオン電池を始めとした次世代蓄電システムは有害物質である鉛や水銀、カドミウムを使用することはないため、環境を汚染することなく処理できことから環境問題の改善に寄与する。

また、電力供給の不安定さがつきまとう太陽光発電や風力発電などの新エネルギーでは蓄電システムに蓄えることによって、電力供給の安定性・信頼性の向上に繋がり、新エネルギー利用促進に寄与する。

(4) 政府の果たした役割

次世代蓄電システムの開発において政府が果たした役割は大きく2つに分けられる。1つは研究開発の支援であり、先に述べたような国プロを立ち上げることによって、技術開発自体の促進と共に、企業、研究機関のレベルアップを行い、広くエネルギー関連産業の裾野拡大に寄与している。

2つめはこのように開発されたシステムの普及促進である。ハイブリッド車や電気自動車の購入に際しての助成はこれらエコカーの普及に大きく寄与しており、地球に優しい社会構築への貢献とともに、これら製品を開発、販売している企業へのインセンティブを多いに高める効果を発揮している。具体的には下記のような施策を行っている。

① 研究開発支援

第2-3-5-4表に示したような独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のプロジェクト(以下にプロジェクト名のみ再掲)を実施することにより、電池業界の技術が広く底上げされ、日本の競争力向上へ貢献している。この他、独立行政法人 日本原子力研究開発機構(JAEA)が保有する中性子計測手法を活用することにより、新たな蓄電材料の研究開発が進展している。

- ・「分散型電池電力貯蔵技術開発」(1992-2001)
- ・「燃料電池自動車等リチウム電池技術開発」(2002-2006)
- ・「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」(2007-2011)

さらに、「科学技術関係施策の重点化に向けた戦略」においては、2009年度の最重要政策課題の一つである革新的技術において、「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」がSランクの評価を得て、2009年度より7年計画で実施されることになっている。同事業では高性能かつ低コストな革新型蓄電池を実現することを目標としており、2030年には電気自動車の航続距離を約500km、コストを現在の約1/40を目指しており、高性能蓄電池の開発は国の重点施策となっている。なお、事業規模は210億円が予定されている。

② 普及策

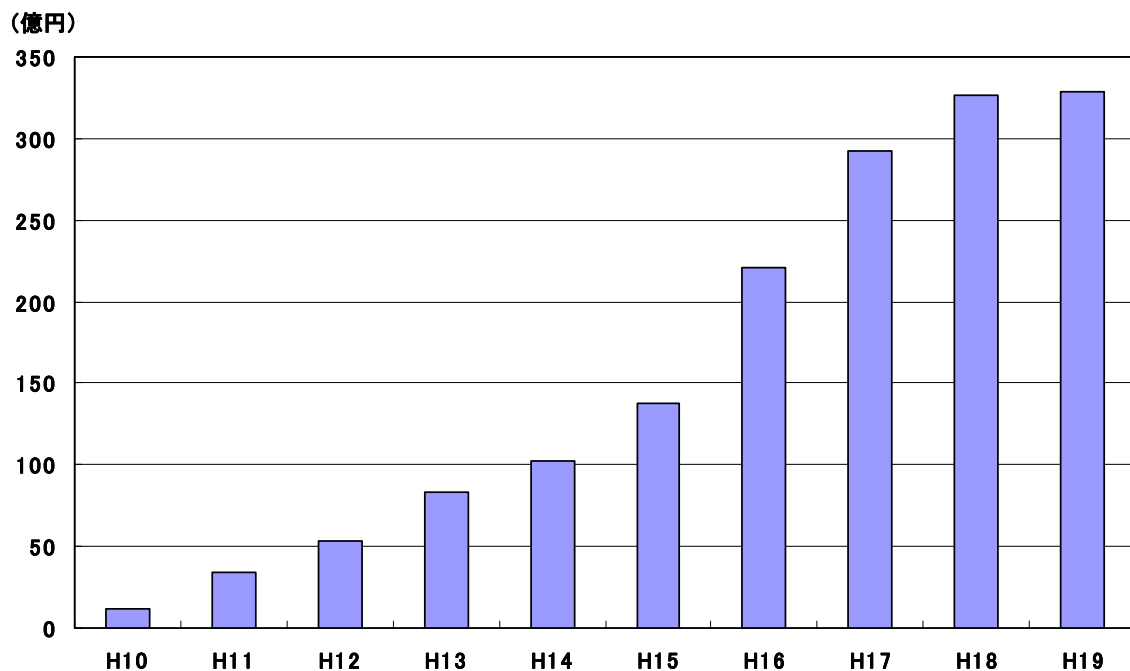
電気自動車やハイブリッドカーの普及のために、国では1998年度より「電気自動車等導入費補助制度」を行っている。1998年度から2009年度までの10年間に約328億円(電気自動車が約12億円、ハイブリッドカーが約316億円)を補助金として助成しており、クリーンエネルギー自動車の普及に努めている(第2-3-5-11図)。

(5) 今後の展開

高性能電池の開発は古くて新しいテーマである。現在、性能的には最高峰にあるリチウムイオン電池においてもその基礎開発は30年前に行われ、現在のリチウムイオン電池はその改良に過ぎない。

社会の期待が大きい高容量電池は極めて高い技術障壁があり、その技術的困難さからみると材料物性の基本に立ち返った研究開発も必要となろう。革新的な蓄電システムを開発するためには、

第2-3-5-11図 電気自動車等導入費補助の累積補助額



出典：電動車両普及センター資料 http://www.cev-pc.or.jp/h20_hojo/hojokin-toha/hojokin-toha-1.html#2

電子状態/波動関数(量子論)を基礎とする物性物理、固体化学、広汎な結晶構造、熱統計力学等に基づく深い洞察力と、最新の高度な物性解析手法のバックグラウンドが必要である。これらの課題に取り組む体制を組織的に構築することによって物性物理系の人材を多く呼び込み、電気化学分野の人材と複合的な研究開発を行うことによって、日本のエネルギー研究開発は真に世界をリードすることができるであろう。

(6)参考文献

- ・「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」
<http://www.meti.go.jp/press/20060828001/press4.pdf>
- ・「次世代自動車用高性能蓄電システムの技術開発」
http://www.nedo.go.jp/informations/koubo/200221_1/gaiyou1.pdf
- ・「平成21年度概算要求における科学技術関係施策の重点化の推進について」
<http://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihu77/siryo1-1.pdf>
- ・「日本の1990～2006年度の温室効果ガス排出量データ」(2008.7.9発表)(温室効果ガスインベントリオフィス)
- ・電動車両普及センター資料
http://www.cev-pc.or.jp/h20_hojo/hojokin-toha/hojokin-toha-1.html#2
- ・NISTEP Report No.89「科学技術振興による経済・社会・国民生活への寄与の定性的評価・分析」2005

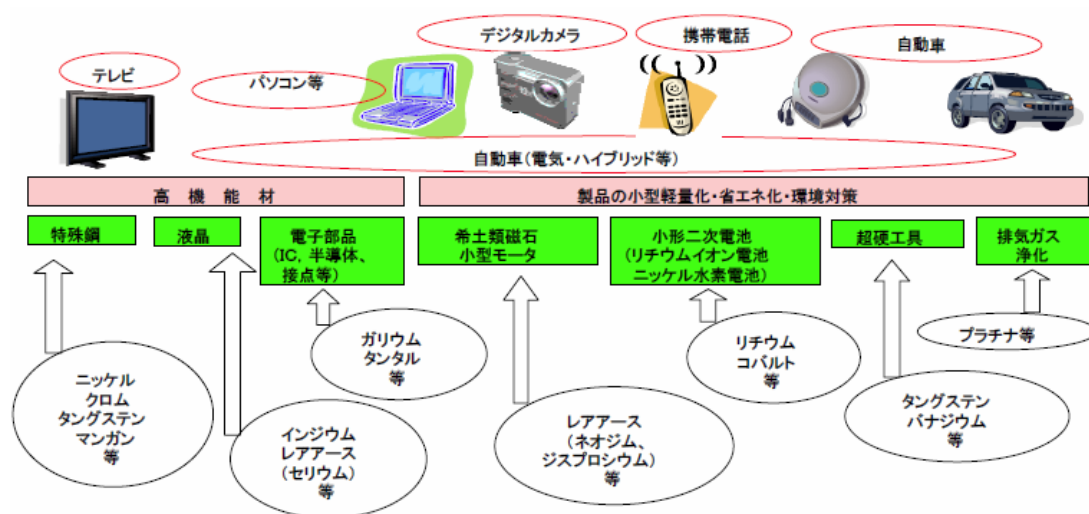
6. 事例6 希少金属回収技術

(1) 事例の背景

① 希少金属の我が国産業における重要性

希少金属（以下、レアメタルと記載）は他の元素と合金をすることで、これまでにない性能や機能を発揮することができ、我が国の産業にとって欠くことのできない重要な原材料の一つとなっている。レアメタルは、家庭用品から産業機械やハイテク分野に至るまで幅広く用いられており、例えば、ハイブリッド自動車用高性能磁石モーターではネオジムやジスプロシウムが使用される他、超硬工具ではタングステン、燃料電池用触媒や自動車用排ガス触媒では白金（プラチナ）、液晶パネルの透明電極ではインジウムが重要な材料に使用されている（第2-3-6-1図）。

第2-3-6-1図 高度なものづくり産業にとってのレアメタルの重要性



出典：経済産業省（使用済小家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会）「（第一回配布資料）レアメタルとその関連施策について」2008年12月

② レアメタルの安定供給

レアメタルとは、地球上にもとからの存在量が少ない金属や、量は多くても経済的もしくは技術的に純粋なものを取り出すのが難しい金属を総称するものであるが、経済産業省工業審議会は、このうち工業的な需要が存在するため、もしくは今後需要が見込まれるため、安定供給の確保が政策的に重要である31の鉱種をレアメタルと定義している。なお希土類元素（以下、レアアースと記載）は、まとめて1鉱種としている。（第2-3-6-2図）

レアメタルは他の資源と同様に、国際的な需給の逼迫による価格の高騰を経験し、資源獲得に向けた環境は厳しさを増している。直近では下落傾向にあるものの、近年多くのレアメタル価格が高騰し、さらに引き続き価格変動の不安定性が高い（第2-3-6-3表）。またレアメタルの供給地は、特定の国に集中しており、特にレアアース（中国）、タングステン（中国）、プラチナ（南アフリカ）等は、その最大供給国に産出量が集中している（第2-3-6-4表）。我が国はレアメタルのほぼ全量を輸入に依存しており、その安定供給の確保は重要な政策課題となっている。

第2-3-6-2図 元素の周期表に見るレアメタル31鉱種

	アルカリ族	アルカリ土族	希土族	チタン族	バナジウム族	クロム族	マンガン族	鉄族(4周期) 白金族(5・6周期)	銅族	亜鉛族	アルミニウム族	炭素族	窒素族	酸素族	ハロゲン族	不活性ガス族		
周期	1 H 水素															2 He ヘリウム		
2	3 Li リチウム	4 Be ベリリウム	レアアース(RE)								5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素	10 Ne ネオン		
3	11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム									13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S イオウ	17 Cl 塩素	18 Ar アルゴン		
4	19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素	36 Kr クリプトン
5	37 Rb ルビウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルテチウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素	54 Xe キセノン
6	55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57～71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オスミウム	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン	86 Rn ラドン
7	87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	89～103 アクチノイド															

ランタノイド	57 La ランタン	58 Ce セリウム	59 Pr プラセオジム	60 Nd ネオジム	61 Pm プロメチウム	62 Sm サマリウム	63 Eu ユークロピウム	64 Gd ガドリニウム	65 Tb テルビウム	66 Dy ジスプロシウム	67 Ho ホルミウム	68 Er エルビウム	69 Tm ツリウム	70 Yb イットリウム	71 Lu ルテチウム
--------	---------------	---------------	-----------------	---------------	-----------------	----------------	------------------	-----------------	----------------	------------------	----------------	----------------	---------------	-----------------	----------------

注：表中、黄色の元素は、レアメタルのうちレアアースを除く30鉱種を示す。ピンクの元素はレアアースを示す。レアアースは周期表3族元素の2種類（スカンジウム、イットリウム）と15種類のランタノイドを合わせて17種の元素であるが、レアメタルとしてはこれら17元素を総括して1鉱種と定義する。

出典：経済産業省（使用済小型家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会）「（第一回配布資料）レアメタルとその関連施策について」2008年12月

第2-3-6-3表 主要なレアメタルの価格高騰の状況

		2003年 ①	2008年9月 ②	②÷①
レアアース(ネオジム)	US\$/kg	6.8	30.0	4.4倍
レアアース(ジスプロシウム)	US\$/kg	26.0	155.0	6.0倍
タングステン(鉱石)	US\$/MTU (*)	44.9	165.0	3.7倍
プラチナ	US\$/TroyOunce	691.1	1,212.3	1.8倍
インジウム	US\$/kg	179.5	555.3	3.1倍

*: 三酸化タングステン10kgを含む鉱石の価格

出典：経済産業省（使用済小型家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会）「（第一回配布資料）レアメタルとその関連施策について」2008年12月

第2-3-6-4表 主要なレアメタルの上位産出国およびシェア(地域偏在性)

	1位	2位	3位	上位3ヶ国 合計シェア
レアアース	中国(97%)	インド(2%)	ブラジル(0.6%)	99%
バナジウム	南ア(39%)	中国(32%)	ロシア(27%)	98%
タングステン	中国(86%)	ロシア(5%)	カナダ(3%)	94%
プラチナ	南ア(80%)	ロシア(12%)	カナダ(4%)	96%
インジウム	中国(49%)	韓国(17%)	日本(10%)	76%

出典：経済産業省(使用済小型家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会)「(第一回配布資料)レアメタルとその関連施策について」2008年12月

③レアメタルの確保のための施策

レアメタルは、供給面に不安があるだけでなく、今後もアジアを中心とした旺盛な需要が見込まれるため、我が国では必要量を確保するため種々の施策が進められている。

供給面での産地偏在のリスクの対策の1つとして、レアメタルの備蓄が行われている。(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(以下、JOGMEC と記載)により、有事に備えた備蓄が行われている。現在、備蓄の対象としているのは、代替が困難で供給国の偏りが著しいレアメタル7鉱種(ニッケル、クロム、モリブデン、マンガン、タングステン、コバルト、バナジウム)である(第2-3-6-5表)。

第2-3-6-5表 レアメタル7鉱種の備蓄

区分	実勢備蓄日数	目標備蓄日数:60日分
国家備蓄	22.6日分(2008年4月末現在)	42日分
民間備蓄	10.4日分(2008年3月末現在)	18日分

出典：JOGMEC パンフレット「レアメタル支援ツールリスト」

このほかに、供給源の多様化を目指した新たな探鉱の開発、レアメタルを使わない高機能材料の開発、レアメタルを使用した廃製品の再資源化(リサイクル)の検討が進められている。

レアメタルは使用後も製品内に存在し続けるため、廃製品から効率的にレアメタルがリサイクルできれば、使用後の製品はレアメタル資源になる。特に小型電子・電気機器には、トランジスタ、コンデンサ、抵抗、IC チップなどに、銅、亜鉛などのベースメタルや金などの貴金属、ニッケル、クロム、マンガン、タンタルなどのレアメタルが多く含まれ、小型モーターやハードディスクに使われる磁石には、レアアースが多く含まれている。

(2)研究開発の経緯

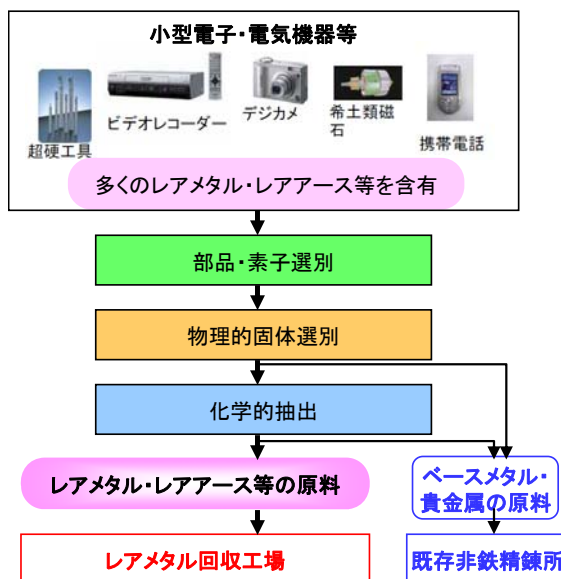
①鉱石以外の材料からの金属回収技術

鉱石以外の材料からの非鉄金属を抽出技術は、1970年代に確立していた。しかしこの技術だけで採算が合うのは、金、銀など一部の金属の回収に限られ、含有量が微量な多くのレアメタルは、経済的にリサイクル事業として成り立っていない。

②レア金属のリサイクルの効率化検討

レア金属を効率良く回収するために、適した前処理方法（選別工程）が検討されている。前処理とは、廃製品に含まれるレア金属の濃集部位を予め剥ぎ取ったうえで、化学的な抽出を行うものである。この工程により、レア金属だけではなく、銅や亜鉛などのベース金属や、貴金属も効率良く得ることができる（第2-3-6-6図）。これらの技術開発が、2007年度～2010年度の予定で実施されている。

第2-3-6-6図 小型電子・電気機器からのレア金属のリサイクル技術



出典：(株)三菱総合研究所作成

③レア金属濃集部位の選択的分離技術の開発

③-1廃小型電子・電気機器の高度分析システム開発

小型電子・電気機器には、一般的にトランジスタ、コンデンサ、抵抗、ICチップなどの素子を実装した回路基盤を含んでいる。これらの素子や回路基盤には、銅や亜鉛などのベース金属、鉛などの有害物質、金、銀などの貴金属とともに、ニッケル、クロム、マンガン、タンタルなどのレア金属が含まれている。これらを効率良くリサイクルするため、簡便に含有量を把握できる高度分析システムの開発が進められている。この開発では、素子の被覆を考慮し、一度過熱した後の蓄熱状況の違いをサーモグラフィーでイメージ化することなどで、基板に含まれる金属の種類、量、濃集部位を特定することを目指している。

③-2物理的固体選別

小型電子・電気機器は、鉄やアルミニウムなどの構造材、銅、鉛、スズ、金、銀などの基板関係材料の他に、レアアースやコバルトを含む希土類磁石、インジウムを含む液晶パネル、タンタルを含む特殊コンデンサなど、多くのレア金属が使用されている。このうち、鉄やアルミニウムなどはリサイクルが確立している。銅、金、銀は、廃基板を前処理なしに銅製錬工程に直接投入する従来工程で採算に見合う回収がされているが、これでは前述の通り、多くのレア金属は採算的に厳しい。

そのため予め電子基板等からレア金属の濃集部位を物理的な方法により選別し、回収の効率

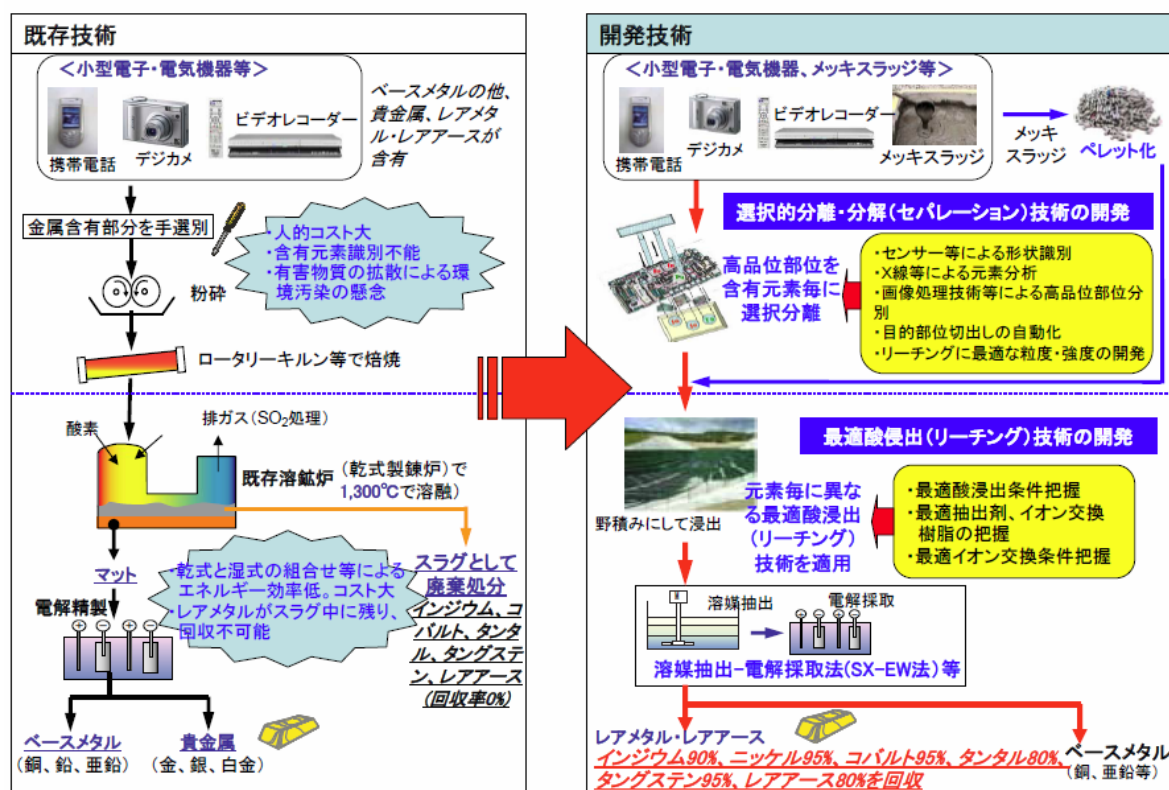
を上げる工程の開発が進められている。物理的固体選別技術としては、粒径選別、形状選別、比重選別、磁力選別、静電選別、色彩選別などの方法から、対象物の特性に応じた選別方法を決する。選別プロセスとしては、解体が容易な部品を取り外した後の電子基板等を破碎し、破碎物について、櫛分け、磁力選別、比重選別を行い、それぞれ各粒度群、着磁物と非着磁物、比重差産物群のレアメタル分布を検討し、破碎工程にフィードバックする。またプラスチック基板を破碎せず、実装されている素子を直接剥ぎ取る選別方法も検討されている。

③-3最適酸浸出技術の開発

物理的に選別されたレアメタル濃集部位から、適切な浸出液と浸出条件で金属を浸出し、この浸出液から各種固液分離法を用いて回収対象金属を分離回収する。ここでの具体的な開発検討要素は以下の通りである。

- ・浸出液の選定：酸（硫酸、塩酸、硝酸、酢酸等）およびアルカリ（アンモニア等）
 - ・浸出条件の探索：浸出液濃度、pH、温度（加圧浸出を含む）
 - ・固液分離法の開発：イオン交換樹脂、溶媒抽出、化合物生成による沈殿分離、電解
- これらの従来技術と、開発技術の比較を第2-3-6-7図に示した。

第2-3-6-7図 小型電子・電気機器等からの希少金属等の回収システム技術



出典：資源エネルギー庁「レアメタルのリサイクルについて」2006年11月

また、海外においても小型電子・電気機器からの金属リサイクルが取り組まれているが、銅や貴金属などに限られており、レアメタルの回収事例はほとんどない。

④その他の技術開発

この他にも、ネオジウム磁石 (Nd-Fe-B 磁石;優れた磁気特性を示すことから近年需要が急増し、将来性が大きいと期待されている)からのネオジウム回収や使用済の超硬工具(日本のタングステン総需要の約8割)からのタングステン回収技術が進められている。

(3) 科学技術成果のインパクト

①経済的インパクト

我が国のものづくり産業に不可欠で、そのほぼ全量を輸入に頼っているレアメタル鉱石の代わりに、小型家電製品等の廃棄物を資源とすることは、レアメタルの安定供給確保に寄与すると期待されている。日本で消費されたレアメタルは、製品、使用済製品あるいは廃棄物として、国内に相当量蓄積されており、リサイクル原料として非常に大きなポテンシャルがあると推量されている(第2-3-6-8表)。但し、蓄積されたもの全てが必ずしもリサイクル可能な状態ではない。銅、亜鉛、鉛、アルミ等の主要非鉄金属に加え、一部のレアメタルはスクラップからの回収が行われているが、銅、鉛に比べ、まだ低い(第2-3-6-9表)。

第2-3-6-8表 レアメタルの埋蔵量と消費量

	埋蔵量	世界消費量 (年間)	日本消費量 (年間)
ニッケル	6,400(万吨)	142(万吨)	19.6(万吨)
コバルト	700(万吨)	5.5(万吨)	1.4(万吨)
タンタル	43,000(トン)	1,290(トン)	897(トン)
インジウム	2,800(トン)	351(トン)	211(トン)
参考:銅	48,200(万吨)	1,796(万吨)	125(万吨)

出典:経済産業省(使用済小型家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会)「(第一回配布資料)レアメタルとその関連施策について」2008年12月

第2-3-6-9表 非鉄金属のスクラップを原料としている割合

鉱種	国内の原料に占めるスクラップ等の割合(%) (推計値)
銅	70
鉛	89
ニッケル	44(注1)
クロム	26(注1)
コバルト	7(注2)
モリブデン	14(注3)

注1:我が国の特殊鋼分野の原料消費量に占めるスクラップ原料の割合(2003年)

注2:我が国の鉄鋼分野の原料消費量に占めるスクラップ原料の割合(1999年)

注3:我が国の原料消費量に占める使用済触媒及び金属スクラップ原料の割合(2003年)

出典:経済産業省(使用済小型家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会)「(第一回配布資料)レアメタルとその関連施策について」2008年12月

不用品として廃棄される電子部品は資源と見立てることができるため、身の回りは鉱石だらけということになり、人間社会はあたかも鉱山のようなものである。これを「都市鉱山」と呼び、我が国では都市鉱山でのレアメタル埋蔵量は、かなり大きいものと見られている。レアメタルのリサイクルが可能になった場合の効果として、次のような試算や推定がされている。

使用済電気電子機器の廃棄推計量と金属資源価値のデータより、使用済電気電子機器の金属資源価値を試算した。試算結果より年間2,800 億円相当の金属資源、うち年間約540億円相当の価値を有するレアメタルが、電気電子機器とともに廃棄される可能性があることが示された(第2-3-6-10表)。この試算値は年毎の出荷台数からの推計値であり、市中には累積(使用中のもの)があることから、社会に蓄積されている金属価値はさらに大きな数値となっていることが推察できる。

第2-3-6-10表 廃棄される電気電子機器に含まれる金属価値の試算

金属名 (鉄、アルミ除く)	用途の例	単価(仮定)	廃棄予想金属量			廃棄予想価値(百万円)		
			4家電	4品目除く	WEEE計	4家電	4品目除く	WEEE計
貴金属	金(Au)	接点	2,378 ¥/g	1.0	40.3	41.3 t	2,374	95,896
	銀(Ag)	接点	47 ¥/g	17	696	713 t	782	32,706
	パラジウム(Pd)	接点、めっき、導電ペースト	1,274 ¥/g	0.0	3.6	3.6 kg	0	5
	白金(Pt)	接点	4,489 ¥/g	0.0	0.7	0.7 kg	0	3
	小計							131,767
非鉄金属	銅(Cu)	銅線、回路	814 ¥/kg	44,119	66,633	110,753 t	35,913	54,239
	亜鉛(Zn)	めっき銅板	419 ¥/kg	6,094	20,096	26,190 t	2,553	8,420
	鉛(Pb)	ブラウン管、CRT.はんだ	132 ¥/kg	5,283	5,028	10,311 t	697	664
	カドミウム(Cd)		50 ¥/kg	7	214	221 t	0	11
	小計							102,499
希少金属	砒素(As)	Ga-As半導体	142 ¥/kg	7	18	24 t	1	2
	水銀(Hg)	蛍光管	944 ¥/kg	0	0	0 t	0	0
	クロム(Cr)	めっき、鉄鋼	354 ¥/kg	0	42	42 t	0	15
	アンチモン(Sb)	難燃助剤、電線	442 ¥/kg	266	658	924 t	118	291
	ビスマス(Bi)	はんだ、磁石	2,925 ¥/kg	13	95	108 t	39	278
	セレン(Se)	感光ドラム	6,200 ¥/kg	0.7	1.8	2.4 t	4	11
	錫(Sn)	はんだ	821 ¥/kg	666	4,631	5,296 t	547	3,802
	ニッケル(Ni)	電池、磁石、リードフレーム	3,648 ¥/kg	333	5,043	5,376 t	1,214	18,396
	コバルト(Co)	磁石、磁気テープ、電池	4,795 ¥/kg	67	2,199	2,266 t	319	10,545
	ガリウム(Ga)	Ga-As、Ga-P半導体	43,000 ¥/kg	7	16	23 t	286	693
	ゲルマニウム(Ge)	PET樹脂触媒、蛍光体	23,604 ¥/kg	1	3	4 t	14	71
	インジウム(In)	透明電極(液晶)	95,000 ¥/kg	0	28	28 t	0	2,660
	モリブデン(Mo)		6,644 ¥/kg	0	0	0 t	0	0
	ストロンチウム(Sr)	ブラウン管、フェライト	590 ¥/kg	3,298	913	4,211 t	1,946	539
	タンタル(Ta)	コンデンサ	7,799 ¥/kg	0	123	123 t	0	961
	テルル(Te)	合金	3,119 ¥/kg	0	0	0 t	0	0
	タングステン(W)	超硬工具	3,816 ¥/kg	0	10	10 t	0	40
	ネオジム(Nd)	磁石	3,541 ¥/kg	0	377	377 t	0	1,335
	レアアース(RE)		3,541 ¥/kg	0	929	929 t	0	3,290
	リチウム(Li)	電池	10,398 ¥/kg	8	268	276 t	82	2,785
	マンガン(Mn)	電池、磁石	212 ¥/kg	0	18,443	18,443 t	0	3,918
	ディズプロシウム(Dy)	磁石	12,982 ¥/kg	0	15	15 t	0	196
	バリウム(Ba)		4 ¥/kg	3,432	1,210	4,641 t	12	4
	小計							54,413
合計							46,904	241,775
								288,679

出典：東北経済産業局「3R推進のための環境リスクコミュニケーション手法を活用した次世代電子機器回収システムの構築に関する調査報告書 概要版」2008年3月を基に(株)三菱総合研究所作成

(独)物質・材料研究機構では、我が国の都市鉱山の規模を推定した(第2-3-6-11表)。インジウムは透明電極としてディスプレイや太陽光発電に用いられるレアメタルであるが、世界の埋蔵量2,800t に対し、我が国の都市鉱山には1,700t もある。これは、世界の年間消費量450t の約4倍に相当する。同様に白金(プラチナ)も都市鉱山としての蓄積が世界の年間消費量の約6倍に、コバルト、タンタル、レアアースも、2～3倍に相当する。

第2-3-6-11表 我が国の都市鉱山の規模推定結果

金属	世界の年間消費量(t)	世界の埋蔵量(t)	わが国の都市鉱山蓄積(t)	世界の埋蔵量に対する我が国の都市鉱山の比率(%)	世界の年間消費量との比	埋蔵量国別順位
Al	177,000,000	25,000,000,000	60,000,000	0.24	0.3	12
Sb	112,000	1,800,000	340,000	19.13	3.1	3
Cr	20,000,000	810,000,000	16,000,000	2.08	0.8	4
Co	57,500	7,000,000	130,000	1.87	2.3	6
Cu	15,300,000	480,000,000	38,000,000	8.06	2.5	2
Au	2,500	42,000	6,800	16.36	2.7	①
In	450	2,800	1,700	61.05	3.8	①
Fe	858,000,000	79,000,000,000	1,200,000,000	1.62	1.5	11
Pb	3,300,000	57,000,000	5,600,000	9.85	1.7	4
Li	21,100	4,100,000	150,000	3.83	7.4	6
Mo	179,000	8,600,000	230,000	2.69	1.3	6
Ni	1,550,000	64,000,000	1,700,000	2.7	1.1	9
Pt	445	71,000	2,500	3.59	5.7	3
RE	123,000	88,000,000	300,000	0.35	2.5	6
Ag	19,500	270,000	60,000	22.42	3.1	①
Ta	1,290	43,000	4,400	10.41	3.5	3
Sn	273,000	6,100,000	660,000	10.85	2.4	5
W	73,300	2,900,000	57,000	1.97	0.8	5
V	62,400	13,000,000	140,000	1.08	2.2	4
Zn	10,000,000	220,000,000	13,000,000	6.36	1.4	6

出典：(独)物質・材料研究機構「(プレス発表)資料我が国の都市鉱山は世界有数の資源国に匹敵」2008年1月

以上のことから、レアメタルのリサイクル技術の開発は、必要量の確保のために非常に有用な技術である。今後の需給動向によっては、レアメタルの市況の低迷により、リサイクル事業が経済的に厳しくなることも想定されるが、その際に政府は長期的な視野で、リサイクルしたレアメタルを備蓄の積み増しに充てるなどで、リサイクル事業を援助すべきであろう。レアメタルのリサイクル技術の開発は、我が国製造業の持続的発展だけでなく、雇用の創出や確保も期待できるものである。

②社会的インパクト

我が国の産業にとって重要な資源である、レアメタルの安定供給確保により、我が国の資源安全保障の向上に寄与すると期待される。レアメタルは排ガス浄化触媒、燃料電池、太陽光発電など、省エネルギー及び環境技術にとっても重要な材料でもあり、その安定供給確保による地球環境問題・エネルギー問題への対応力の向上も期待される。

③国民生活へのインパクト

レアメタルの我が国産業への安定供給が確保されることで、電子機器、自動車等の国民生活を支える高性能、高機能機器による、生活の質の向上が期待される。また、この技術はレアメタルに留まらず、ベース金属、貴金属、プラスチック等のリサイクル促進にも応用可能であることから、地球

環境に優しい、本格的リサイクル社会実現に寄与することも期待される。

(4) 政府の果たした役割

① 技術開発および調査研究

レアメタルは市況変動が激しく、価格によっては経済的にリサイクル事業が困難となるため、政府が長期的視点から必要な技術開発を支援している。主要なものとしては廃小型電子・電気機器等からの希少金属回収技術開発(2007～2010年度、予算は2008年度:2億円、2009年度案:5億円)がある。同技術開発は、JOGMEC の指揮のもとで大学、産業技術総合研究所、非鉄製錬会社の連携により進められている。

また、2009年度から以下の研究開発が着手される予定である。

- ・廃小型家電からのレアメタルリサイクルのシステム構築事業(2009年度予算案0.5億円)
- ・製造工程で利用・廃棄されるレアアースのリサイクル技術開発(2009年度予算案1.0億円)

研究開発に先立ち、家電等におけるレアメタル含有量やリサイクルの実態について調査・研究が行われ、研究開発のための基礎データを整備した。主要なものとしては以下がある。

- ・東北大学多元物質科学研究所の中村崇を中心としたRtoS研究会は、秋田県や大館市、JOGMEC、DOWA エコシステム(株)などと共に、機器の種類や廃棄や保有の状況を調査した。(「小型電気・電子機器廃棄状況予察調査」2006年度)。
- ・JOGMEC は、レアメタルのリサイクル促進に向けて、主要なレアメタルの原料から製品、リサイクルに至るマテリアル・フローを把握し、政策課題の抽出、具体的施策の検討に役立てるための調査を実施している。具体的には、銅、鉛、亜鉛、アルミニウム、金、銀、マグネシウム及びレアメタル31鉱種、計40鉱種を対象に、需給状況及び動向等を調査分析し、鉱種毎のマテリアル・フローを作成している。(「鉱物資源マテリアル・フロー調査」2001年度、他)

② 社会システムの整備

リサイクルに必要な、廃棄物回収等の社会システム整備についても、エコタウン事業等を通じて政府が役割を果たしている。エコタウン事業は、地域の産業蓄積などを活かした環境産業の振興を通じた地域振興および地域の独自性を踏まえた廃棄物の発生抑制・リサイクルの推進を通じた資源循環型経済社会の構築を目的に、地方自治体が地域住民、地域産業と連携しつつ取り組む先進的な環境調和型まちづくりのモデル事業を、政府が支援するものがある。

レアメタルのリサイクルに関連する主なエコタウン事業として、秋田県北部エコタウン計画がある。秋田県北部エコタウンエリアでは、これまで鉱業、林業等で培われた製錬技術、リサイクル技術、廃棄物処理技術、などを活用した資源リサイクル関連事業の創出が取り組まれている。

特に、小型電子機器からのレアメタル回収については、秋田県大館市は、家電リサイクル法の対象外の小型廃家電を回収する試みを、産学官連携により2006年末から開始した。市内のスーパーや公民館に小型電子機器の回収箱(こでん回収ボックス)を設置するほか、自治体が回収する一般廃棄物からも一部分別して回収しており、集めた機器は DOWA グループの家電リサイクル工場(株)エコリサイクルで処理し、レアメタルを回収している。2007年12月からは、秋田県が県北部9市町村で同様の事業を展開し、2008年10月には県全域に事業を拡大した。

家電等のリサイクルに関連する各地のエコタウン事業と投資額は、第2-3-6-12表の通りである。

第2-3-6-12表 エコタウン事業と投資額

事業名称	補助対象	時期	交付額
秋田県北部エコタウン計画	家電製品リサイクル施設	1999年度	2.5億円
	非鉄金属回収施設	2000年度	8.5億円
北九州エコタウンプラン	家電製品リサイクル施設	1998年度	7.18億円

出典:(株)三菱総合研究所作成

③法制度整備

家電等のリサイクルの促進のためには、法制度整備も不可欠である。リサイクル技術を活かすためにも、廃家電等が有効に収集されることが必要である。

電気・電子機器のうち、製品の製造事業者等に回収やリサイクルの義務があるのは、家電リサイクル法と資源有効利用促進法に定める次の品目のみである。これらに該当しない小型電気・電子機器で、家庭から不燃ごみや粗大ごみとして排出されたものは、自治体の取組としてリサイクルされるものを除き、ほとんどが破碎や焼却処理の後、埋め立て処分されることになる。

第2-3-6-13表 リサイクル義務のある法令

法令	対象品目等
特定家庭用機器再商品化法 (家電リサイクル法) (2001年4月施行)	リサイクル対象品目:エアコン、ブラウン管テレビ、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機 追加予定:液晶・プラズマテレビ、衣類乾燥機
資源有効利用促進法 (2001年4月施行)	指定再資源化製品(事業者による自主回収・リサイクルの義務付け):パソコン、携帯電話やデジタルカメラなどに使用される小型二次電池

出典:(株)三菱総合研究所作成

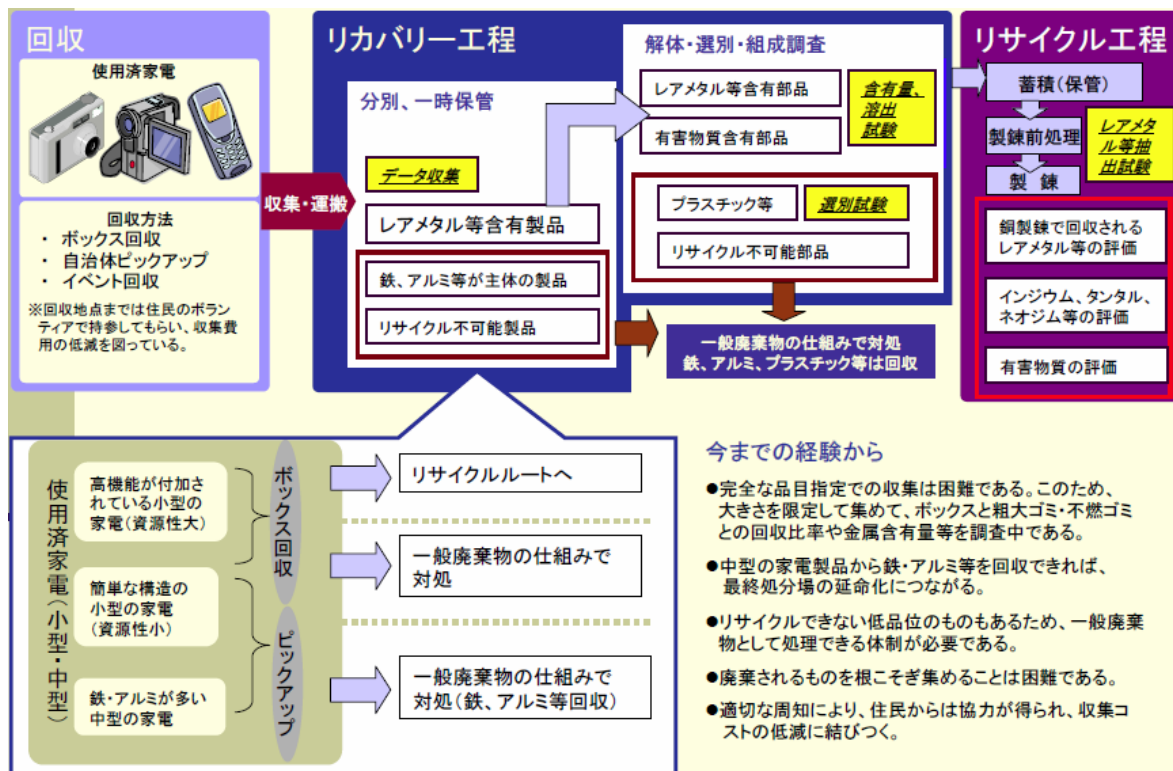
(5)今後の展開

①リサイクルに必要な社会システム整備に向けて

経済産業省および環境省は、デジタルカメラなどの使用済小型家電製品等の収集モデル事業を2008年度より実施している。同事業では、適正かつ効果的なレアメタルのリサイクルシステムの構築を目指して、使用済小型家電の回収活動で先行している自治体等と連携し、実際に多種多様の使用済小型家電をさまざまな方法で回収することにより、効率的な回収方法の検討を行うとともに、回収された使用済小型家電についてレアメタルの含有実態の把握等を実施している。また、使用済小型家電のリサイクルに係る有害性の評価及び適正処理等について検討が行われる予定である。

同事業は、レアメタル回収を念頭においた使用済小型家電の回収を行っている等、先進的な取り組みを開始している自治体として、秋田県、茨城県、福岡県でモデル事業として実施されている。例として秋田県におけるモデル事業のフローを、第2-3-6-14図に示す。

第2-3-6-14図 秋田県モデル事業のフロー



出典：経済産業省(使用済小型家電からのレアメタルの回収及び適正処理に関する研究会)「(第一回配布資料)レアメタルとその関連施策について」2008年12月

②中長期の取組としての代替技術開発推進

レアメタルの当面の供給障害を回避する手段としてのリサイクル促進に加えて、中長期的に絶対量が不足すると予想される元素に関しては、レアメタルを極力使わない材料の開発等、材料研究開発の根本的見直しも必要である。このため、文部科学省による「元素戦略プロジェクト」と経済産業省による「希少金属代替材料開発プロジェクト」が役割分担をして平行して推進されている。それぞれの概要を以下に示す。

②-1元素戦略プロジェクト(文部科学省)

同プロジェクトでは、物質・材料の機能・特性の発現機構を明らかにすることで、希少元素や有害元素を使うことなく、高い機能をもった物質・材料を開発することを目的として以下の研究・技術開発が進められている。

- ・豊富で無害な元素による代替材料の研究
- ・戦略元素の有効機能の高度活用
- ・元素有効利用のための実用材料設計技術

このプロジェクトは5年の研究期間の終了後に、実用化に向けた研究段階に移行することを目標として、基礎的・基盤的な研究を推進している。成果としては、完全代替技術の開発や使用量の大幅低減などが目指されている。

②-2希少金属代替材料開発プロジェクト(経済産業省)

同プロジェクトでは、レア金属の総合的な対策の一部として代替・使用量低減を目指し、資源問題解決の決定打となるような希少資源・不足資源代替材料革新技術の開発とともに、基礎から実用化までのシームレスな支援体制確立を狙いとしている。

研究開発の目標は、2011年度までに、以下に述べる3鉱種の使用原単位を目標とする割合まで低減できる製造技術、および、それをユーザー企業、大学などの外部機関に対して機能評価のためにラボレベルで試料提供できる水準に至るまでの技術を確立することである。なお、製品の機能や製造コストは現状より悪化しないことを前提としている。

対象となる鉱種は以下の通りである。

- ・透明電極向けインジウム(現状から50%以上低減)
- ・希土類磁石向けジスプロシウム(現状から30%以上低減)
- ・超硬工具向けタングステン(現状から30%以上低減)

(6)参考文献

- ・ 経済産業省(使用済小型家電からのレア金属の回収及び適正処理に関する研究会)配布資料2008年12月:<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/data/g81202cj.html>
- ・ 総合資源エネルギー調査会鉱業分科会レア金属対策部会「今後のレア金属の安定供給対策について(案)」2007年6月
- ・ 資源エネルギー庁鉱物資源課「平成21年度鉱物資源政策関連予算案等の概要について」2009年1月:
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90130a04j.pdf>
- ・ 資源エネルギー庁「レア金属のリサイクルについて」2006年11月:
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g70125b04j.pdf>
- ・ (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構「JOGMEC の活動 HP」:
http://www.jogmec.go.jp/jogmec_activities/index.html
- ・ 科学技術政策研究所 「希少金属資源に関する我が国の採るべき方策」科学技術動向 No.79、2007年10月
- ・ 東北経済産業局「3R 推進のための環境リスクコミュニケーション手法を活用した次世代電子機器回収システムの構築に関する調査報告書」2008年3 月:
http://www.eesol.co.jp/release/3R/pdf/200806_3R_report_summary.pdf
- ・ DOWA エコシステム㈱「環境事業のサステナビリティ」:
<http://3r-forum.jp/enterprise/trash-zero/pdf/report-070219-03.pdf>
- ・ (独)物質・材料研究機構「我が国の都市鉱山は世界有数の資源国に匹敵」2008年3月:
<http://www.nims.go.jp/jpn/news/press/pdf/press215.pdf>
- ・ 経済産業省「エコタウン事業」HP:
http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/3r_policy/policy/ecotown.html
- ・ 秋田県北部エコタウン計画 HP:<http://akita-recycle.com/cluster.html>
- ・ 希少金属等含有製品回収促進協議会「希少金属等の資源リサイクル促進に向けた携帯電話の都内回収実験実施結果報告書」2009年1月:
<http://www.metro.tokyo.jp/INET/CHOUSA/2009/01/DATA/60j1f201.pdf>

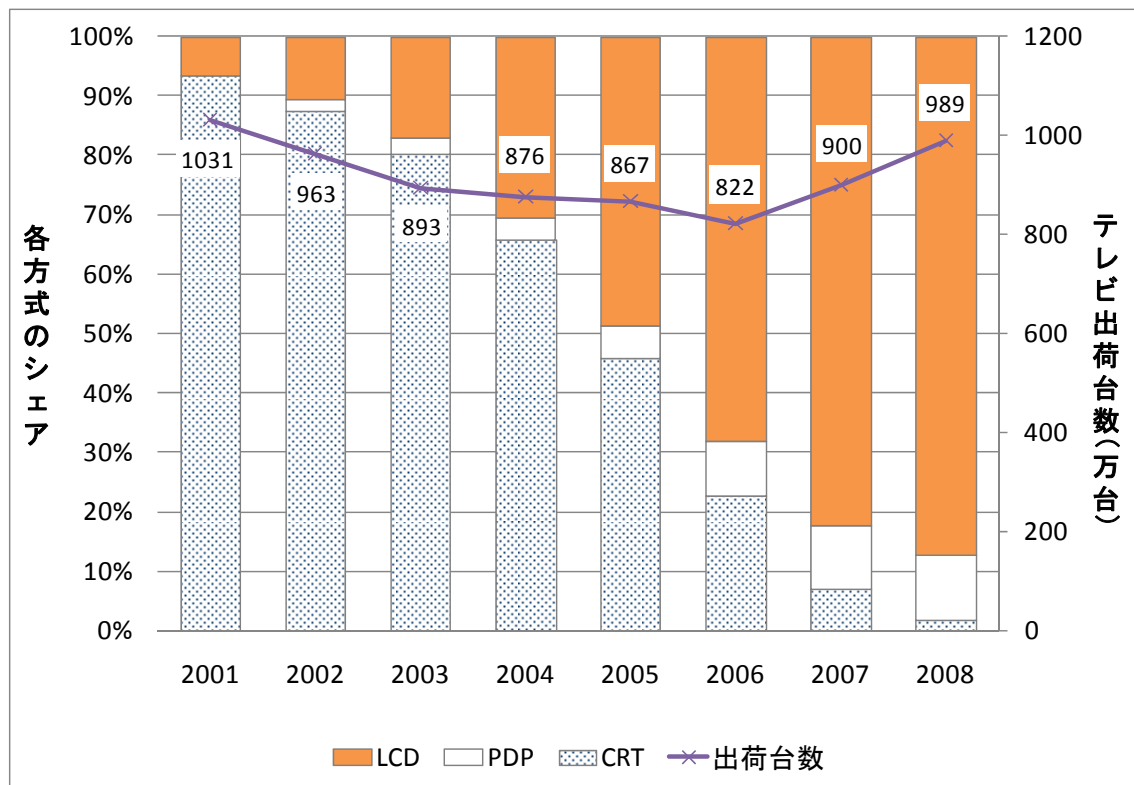
- JOGMEC「鉱物資源マテリアルフロー」HP:
http://www.jogmec.go.jp/mric_web/jouhou/material_flow_frame.html
- 資源エネルギー庁「マテリアル・フロー調査の実施について」2006年11月:
<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g70125a04j.pdf>

7. 事例7 次世代画像表示技術(有機 EL)

(1) 事例の背景

90年代後半まで、ディスプレイはブラウン管ディスプレイ(CRT:Cathode Ray Tube)が主流であったが、パソコン用のディスプレイから徐々に液晶等のフラットパネル型ディスプレイに置き換わり、2008年のTV用出荷台数では、液晶テレビ(LCD:Liquid Crystal Display)とプラズマディスプレイ(PDP:Plasma Display Panel)の合計シェアが98%を超えている(第2-3-7-1図)。

第2-3-7-1図 方式別日本のテレビ出荷台数推移



出典：社団法人 電子情報技術産業協会「民生用電子機器国内出荷統計」より作成

LCD や PDP の低価格化、高性能化は進歩しているが、原理的な限界もあるため、民間企業各社は新方式のディスプレイの開発を進めている。

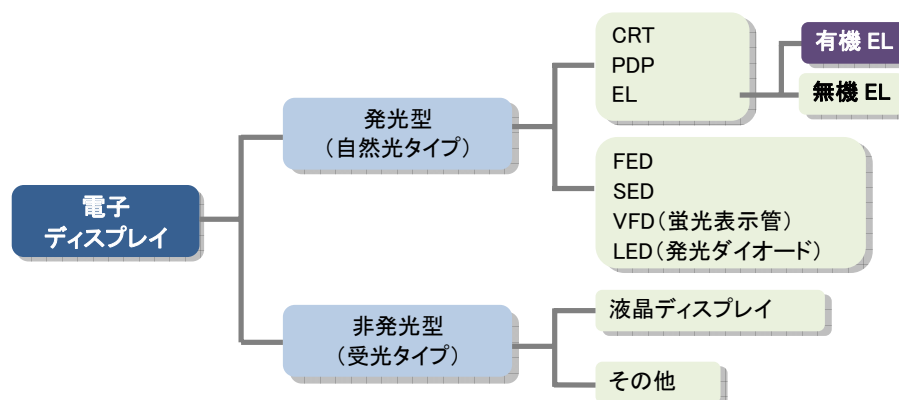
次世代ディスプレイには、低消費電力、高輝度、高精彩などが求められており、現時点では、有機 EL(Electro-Luminescence)が最有力な方式の一つとして考えられている。

ディスプレイの各方式の分類と性能比較を第2-3-7-2図に示す。ディスプレイは、大きく発光型と非発光型に分かれる。液晶ディスプレイのような非発光型ディスプレイは、デバイス自体は発光しないので、バックライトで照らす必要がある。このため、消費電力や輝度に限界が生じてしまう。

有機 EL の他の次世代ディスプレイとしては、FED(Field Emission Display)や SED(Surface-conduction Electron-emitter Display)、無機 EL が考えられる。FED や SED は電界放出ディスプレイと呼ばれ、ブラウン管と類似の構造を持ち、次世代ディスプレイとして高いポテンシャルを秘めているが、各社の開発状況が順調でなく、実用化まではもう少し時間がかかることが予想される。無機 EL は、フルカラー化や消費電力面で大きな課題を抱えており、ディスプレイ用途として

の普及は難しいと考えられている。

第2-3-7-2図 ディスプレイの方式分類



出典：城戸淳二「有機 EL のすべて」日本実業出版社2003より作成

(2) 研究開発の経緯

現在の有機 EL と同様の発光現象が見出されたのは、1965年の米国 RCA 社の Helfrich らの論文によるものである。その論文では、アントラセン単結晶に高電圧をかけることにより、結晶中で電子と正孔が再結合し、励起された電子が基底状態に戻る時に青色発光する様子が観察されたとしている。ただし、その駆動電圧は数100V と非常に高く、観察された発光強度も光っていることが確認できる程度であった。

有機 EL にとって、最大のブレークスルーは1987年の米国イーストマン・コダック社の技術者であった Tang によってもたらされた。Tang らは、「超薄膜」で「多層構造」の素子を作成し、適切な有機材料(正孔注入層:トリフェニルアミンの二量体、電子輸送性発光材料:アルミキノリン)を利用することによって、それまでの有機単結晶による単層型有機 EL 素子と比較して、大幅に明るい素子の開発に成功した。Tang らは、さらに1989年に発光層に他の発光材料をドーピングすることにより、発光色を変化させることができることを報告した。Tang らの一連の研究によって、ディスプレイの性能として重要な、輝度とカラー化という問題が大きく進展したことになる。

発光効率の課題を解決したのは、1999年のプリンストン大のForrestらのグループであった。Forrestらのグループは低いエネルギー状態から基底状態に戻る際にも光を発する物質を人工的に作り出し、それまで25%しかなかった内部量子効率を原理的には100%まで上げられる可能性を示した^(注)。

日本においては、80年代から九州大学(斎藤省吾研究室)や慶応大学、出光興産(株)などが研究をしていたが、米国イーストマン・コダック社の発表をきっかけに大きな盛り上がりを見せ、電機系メーカーでは、パイオニア(株)・NEC(株)・TDK(株)・スタンレー電気(株)・三洋電機(株)・(株)

(注) 有機分子は光励起下においては基底状態(S0)から一重項状態(S1)へ光吸収が起こり、この励起状態から再び基底状態へ放射失活する際に蛍光が生じる。しかし電流で励起子を生成した場合(電流励起)、電子とホールとの再結合後、スピン統計則により一重項状態と三重項状態(T1)が1:3の割合で生成するため、蛍光発光するS1の生成効率は25%の低い値に留まってしまう。リン光と呼ばれるT1からの発光は、本来禁制遷移であるため、75%もの励起子が非放射失活して発光に寄与しなかったが、IrやPtのような重原子を含む錯体による分子内の強いスピン相互作用により、通常禁制である三重項準位からの放射が緩和され、常温においてもリン光が観測できるようになった。(九州大学未来科学創造センター光化学材料部門安達研究室 HPより引用)

東芝、材料系メーカーでは、三菱電機(株)が研究を開始した。当時の大学研究の中心は九州大学であり、各社は九州大学に研究者を派遣し、共同研究や人材育成を行った。

有機 EL の基本デバイス構造は、米国イーストマン・コダック社のものを含めて3種類あるが、そのうちの2種類は九州大学の安達千波矢らが1988年に発表している。安達はその後プリンストン大へ短期渡米しており、Forrest らの研究にも寄与している。

日本における有機EL研究のもう一つの拠点は山形大学である。山形大学の城戸淳二は、1993年に世界で初めて白色に有機ELを光らせることに成功した。この成功により、有機ELカラーディスプレイの実現性は大きく向上した。山形大学では、2001年に通常の有機EL素子を多段に積み重ねたマルチフォトン素子を開発し、有機ELの輝度を格段に向上させた。この発見により、有機ELは照明という新しい可能性も開かれることとなった。照明用途では、2003年に山形県に設立された有機エレクトロニクス研究所が有機EL照明の実用化基盤研究を推進している。有機EL照明に関しては、商品化された例は無く、Lumiotec(株)^(注1)やコニカミノルタグループ、OSRAM社(ドイツ)などが、CEATEC JAPAN^(注2)に出展するなど、積極的に開発を進めている。

一方、企業による実用化も、その間着実に進展していた。世界初の実用化は、1997年の東北パイオニア(株)による緑色単色パネルを搭載した車載用オーディオである。2000年には同社のエリアカラーの小型パネルが米国モトローラ社の携帯電話に採用され、それを契機に特に韓国を中心に携帯電話ディスプレイの有機 EL 化が進んだ。韓国ではサムソン SDI が小型有機 EL ディスプレイの開発を積極的に行い、MP3プレーヤー等小型ディスプレイには次々と有機 EL が採用されている。

テレビの製品化は2007年12月のソニー(株)が世界初である(11型)。ソニー(株)は有機 EL に関しては後発組であったが、研究者を集めて集中投資をすることにより、先行組を追い抜いて、画質・デザイン性に非常に優れた製品を販売するまでに至った。ソニー(株)の発表を受け、国内外各社は刺激を受け、有機 EL テレビの本格普及に向けて研究開発・製品開発を進めている。

以上の研究開発の経緯を第2-3-7-3表に示す。

(注 1) 照明用有機 EL パネルのサンプルパネル製造・販売とパネル事業の事業性評価をするために、三菱重工業(株)、ローム(株)、凸版印刷(株)、三井物産(株)および城戸淳二が出資して 2008 年に設立。

(注 2) CEATEC JAPAN は、世界最先端の技術・製品・サービスが発表され、国内外の業界関係者を始めとする、幅広いユーザーから大きな関心をもたれている最先端 IT・エレクトロニクス総合展

第2-3-7-3表 有機 EL の研究開発経緯

経緯	
1965年	米国 RCA 社 Helfich、Schneider らがアントラセンの単結晶を青色に光らせることに成功
1987年	米国イーストマン・コダック社 Tang らが現在の有機 EL の基本構造である「超薄膜」で「多層構造」の素子を作成：有機 EL 研究最大のブレイクスルー
1988年	九州大学安達らが、残り2つの基本構造を発表
1989年	米国イーストマン・コダック社 Tang らが、発光材料をドーピングすることにより、有機 EL のカラー化（赤、緑の発色）に成功
1993年	山形大学城戸らが世界で初めて白色に有機 EL を光らせることに成功
1997年	東北パイオニア(株)が世界初の有機 EL 実用化（車載用オーディオ）
1999年	英国プリンストン大 Forrest らがりん光物質を作成し、発光効率を飛躍的に向上
2000年	携帯電話に初めて有機 EL パネルが搭載（東北パイオニア(株)のパネルが、米国モトローラ社の携帯に搭載）
2000年代半ば	携帯電話のサブディスプレイ、MP3プレーヤーなどへの搭載が進む
2007年	ソニー(株)より11型の有機 EL テレビの発売

出典：(株)三菱総合研究所作成

現在の有機 EL は、低分子系有機材料が主流となっているが、歩留りが悪く、高コストになってしまふなどの問題を抱えているため、高分子系有機材料を用いた製品開発も進められている。それぞれの材料の特徴を第2-3-7-4表に示す。

第2-3-7-4表 低分子系材料と高分子系材料の特徴

	低分子系	高分子系
素子構造	多層構造	単層構造
製造方法	真空蒸着（ドライプロセス）	塗布、印刷（ウェットプロセス）
材料コスト	蒸着によるので、材料利用率が数%となり、コスト高	塗布によるので、ほぼ無駄がなく、安くできる
発光効率	多層化によって、効率を上げることができる	単層なので効率が落ちてしまう
寿命	R(Red),G(Green),B(Blue)とも実用レベルで寿命が長い	寿命は短く、実用レベルに達していない
開発状況	量産化	研究開発
主な材料メーカー	出光興産(株)	住友化学(株)

出典：坂本雅明「東北パイオニア有機 EL の開発と事業化」2005等より(株)三菱総合研究所にて作成

(参考:有機 EL の典型的構造)

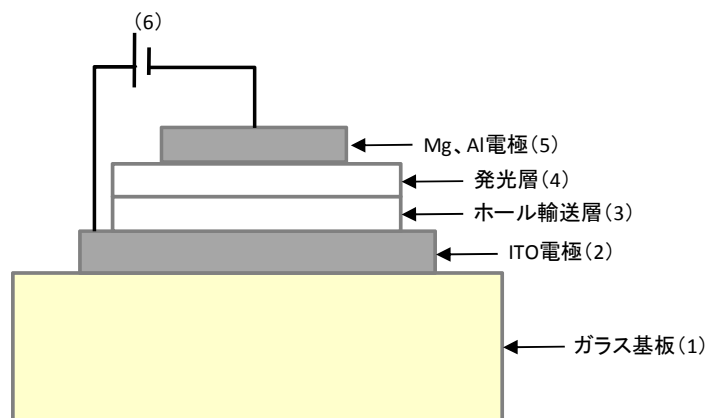
有機 EL は、外部から電子とホール(正孔)を注入し、それらを再結合させることによって発光させている。

有機 EL の典型的構造を第2-3-7-5図に示す。これは米国イーストマン・コダック社の特許(特公平6-32307)に記載されている概略的断面図をベースにわかりやすいようにモデル化した典型的構造である。

ガラス基板(1)の上に陽極(ITO 電極—透明)(2)、ホール輸送層(3)、発光層(4)、陰極(5)が順次積層される。上下の電極間に電圧を印加することで、ITO 電極からホール輸送層に向けてホール(正孔)が注入され、陰極からは発光層に向けて電子が注入され、発光層で電子とホールが結合してガラス基板側から光が放射される。異なる発光材料を用いることにより、自由に発光色を変化させることも可能である。

有機半導体材料には正孔の輸送が容易である正孔輸送材料や電子の輸送が容易である電子輸送材料が存在し、これらと、発光効率の高い材料とを組み合わせることで機能を分担することで、発光効率の大幅な上昇と低駆動電圧化が実現可能となっている。

第2-3-7-5図 有機 EL の典型的構造



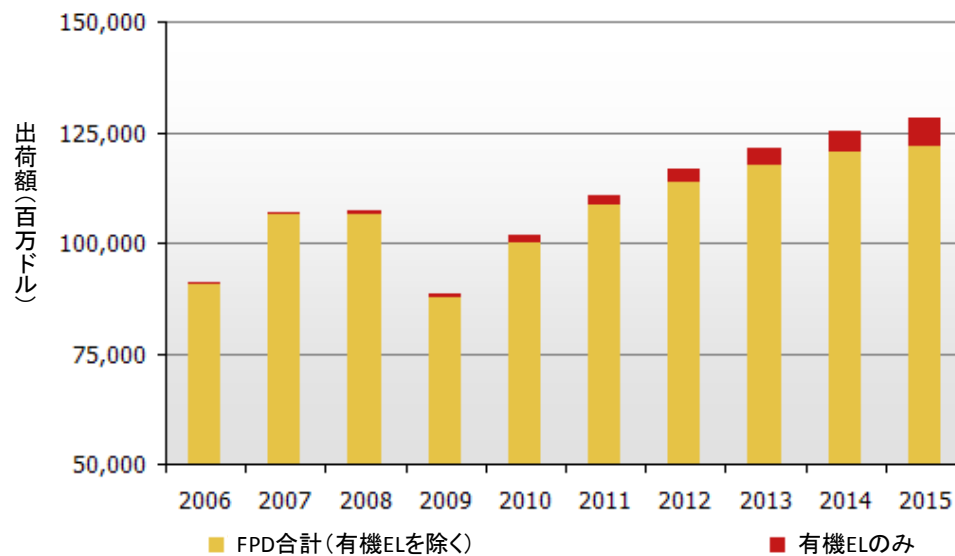
出典:特許庁「技術分野別特許マップ有機 EL」1999

(3) 科学技術成果のインパクト

① 経済的インパクト

現在有機 EL の主な用途は、携帯電話のディスプレイ用である。2008年の市場規模は全世界で、約6億ドルである。今後はテレビ用のディスプレイなどに用途が広がることにより、2015年には60億ドルと現在の10倍の市場に成長すると予測されている(第2-3-7-6図)。また、有機 EL は先に述べたように照明用途としての開発も進められている。

第2-3-7-6図 有機 EL の市場規模推移および予測



出典: DisplaySearch 社プレスリリース (February 2009)

有機 EL の用途としては、携帯電話のサブディスプレイ用途が全体の50%以上を占めており、MP3プレーヤー用と、携帯電話メインディスプレイ用途と続いている。

第2-3-7-7表 有機 EL の用途別シェア (2007年)

順位	用途	シェア	対前年比
1	携帯電話サブディスプレイ	54.7%	-10%
2	MP3プレーヤー	25.2%	-35%
3	携帯電話メインディスプレイ	11.5%	137%
4	他の電子機器 (PDA など)	4.4%	223%
5	カーオーディオ	3.3%	4%
	その他	0.9%	31%
	合計	100.0%	-9%

出典: DisplaySearch 社プレスリリース (March 2008) より(株)三菱総合研究所にて作成

2007年有機 EL ディスプレイ市場では、32%の出荷台数シェアでサムソン SDI がトップになっている。2位はインテル社やゼネラル・エレクトリック社が出資している台湾のライトディスプレイ社である(第2-3-7-8表)。日本メーカーは TDK (株)とパイオニア (株)が上位5社に入っている。また、有機 EL 材料および有機 EL 製造装置では、日本企業が非常に高い競争力を持っている。

第2-3-7-8表 有機 EL の市場シェア(2007年)

順位	企業	売上(百万ドル)	出荷台数シェア
1	サムソン SDI(韓国)	\$156.7	31.7%
2	ライトディスプレイ社(台湾)	\$107.9	21.8%
3	パイオニア(株)(日本)	\$90.6	18.3%
4	TDK(株)(日本)	\$25.3	5.1%
5	eMagin 社(台湾)	\$15.0	3.0%
	その他	\$98.5	19.9%
	合計	\$493.9	100.0%

出典: DisplaySearch 社プレスリリース(March 2008)より(株)三菱総合研究所にて作成

②国民生活へのインパクト

有機 EL ディスプレイが普及することにより、これまでよりも高画質、高精彩な映像を各家庭で体験できるようになる。また、ディスプレイがより薄型になるため、設置場所の自由度やデザイン性が向上する。有機 EL ディスプレイと液晶ディスプレイの性能を比較したものを第2-3-7-9表に示す。

第2-3-7-9表 有機 EL ディスプレイと液晶ディスプレイの性能比較

	透過型 LCD (バックライト付き)	反射型 LCD	有機 EL
軽量・薄型	△	○	◎
輝度・コントラスト	◎	△	○→◎
応答速度	△	△	◎
視野角	△→○	△→○	◎
消費電力	○	◎	△→○
寿命	◎	◎	△→○
コスト	○	◎	○

出典: 時任静士・安達千波矢・村田英幸「有機 EL ディスプレイ」オーム社、2004

照明に関しては、白熱灯や蛍光灯と比較して、以下のような優位性を備えている^(注)ため、従来の照明器具の代替だけでなく、歯ブラシやデンタルミラー、ルーペ、バッグなど、これまで照明が取り付けられなかった場所への設置なども考えられている。

- ・ 発光効率が高いことによる省エネ: 白熱灯10%、蛍光灯20%と比較して、有機 EL 照明は理論上70%以上が可能。消費電力は理論上蛍光灯の半分以下。
- ・ デザイン性に優れている: 発光面が非常に薄いため、器具を薄くでき、基板を曲がる材料にすれば、自由に曲げることも可能。
- ・ 自然光を再現する照明: 発光スペクトルが幅広く、自然光(太陽光)により近い特性を持つて

^(注) 有機エレクトロニクス研究所 HP(<http://www.organic-electronics.jp/>)、科学技術動向 2009 年 1 月号「省エネルギーに寄与する照明の効率化技術」より作成

いるため、蛍光灯のような鋭い線状のスペクトルとは異なり、より自然なものの見え方をし、自然な色合いも再現しやすい。

- ・ 生活上のメリットも大きい: 紫外線を含まないため、目に優しく、衣類や印刷物が褪色せず、また虫が寄りつかない
- ・ 環境にやさしい: 水銀などの有害物を含まないため環境汚染の心配が無い。

その他、フレキシブルディスプレイへの応用も検討されている。

(4) 政府の果たした役割

有機 EL の研究開発において、政府がこれまでに果たした役割は、以下の3点にまとめられる。

- ・ 国立大学による研究基盤形成
- ・ 国家プロジェクトによる産学官連携体制の構築
- ・ 国家プロジェクトによる共通基盤技術の開発

④ 国立大学による研究基盤形成

先述したように、有機 EL 研究に関しては、九州大学や山形大学などの国立大学が画期的な研究成果を出し、そこへ、企業が研究者を派遣して共同研究をすることにより、人材育成や知識・ノウハウの伝承が行われ、今日の有機 EL 研究の基盤を形成した。

各企業は大学に1か月～2年程度研究者を派遣して、専門知識や研究方法・技術などを教えてもらっていた。企業に戻った研究者は皆、中核的な研究者として現在でも活躍をしているとのことであった。

⑤ 国家プロジェクトによる産学官連携体制の構築

山形大学城戸の画期的な研究成果を受けて、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が2002年～2006年にかけて、「高効率有機デバイスの開発」プロジェクトを実施した。総予算額は5年間で46億円、研究リーダーは城戸が務めた。

当該プロジェクトは、「60インチクラスまで適用可能で高いエネルギー効率を有する有機 EL ディスプレイ」と「動画表示が可能な0.2mm 厚程度のフィルムディスプレイと駆動回路」の2つを目標として、山形大学、千葉大学、独立行政法人産業技術総合研究所、大日本印刷(株)、東芝松下ディスプレイテクノロジー(株)等が参画し、研究開発が行われた。研究目標としては達成されなかった部分も多くあったが、このプロジェクトを契機として、産学官の連携体制が強化され、以下のような取り組みにつながった。

- ・ 「有機ディスプレイ委員会」の形成: 財団法人光産業技術振興協会内に設置された同委員会では、国内の民間主要機関関係者が全て参加し、オフレコの活発な意見交換が行われた。
- ・ 若手研究者育成のため、「有機 EL 討論会」を開催: 学術的な面で若手研究者を育成することが必要と認識された。その結果「有機 EL 討論会」を開催することとなった。九州大学安達、山形大学城戸始め、主要な大学等の研究者も参加している。年に2回開催され、非常に盛況となっている。有機 EL 討論会では、議論することに力点が置かれており、学会のように時間が来たら終わりではなく、パネルを用意して、発表後に徹底的な議論が行われている。

⑥ 国家プロジェクトによる共通基盤技術の開発

有機ディスプレイ委員会での議論が契機となり、有機 EL ディスプレイの大量生産に向けては、共通基盤技術の開発が必要であることが民間企業各社の共通理解となり、企業が国に働き掛けた結果、2008年度から、NEDO によって、「次世代大型有機 EL ディスプレイ基盤技術の開発(グリーン IT プロジェクト)」事業(2008年～2012年の5年間で、年間7億円程度の予算が予定されている)が開始された。

当該プロジェクトは、ソニー(株)、東芝松下ディスプレイテクノロジー(株)、シャープ(株)、住友化学(株)、出光興産(株)、独立行政法人産業技術総合研究所、長州産業(株)、JSR(株)、(株)島津製作所、大日本スクリーン製造(株)、日立造船(株)の11社によって取り組まれている。

電極、封止、製膜(低分子蒸着、高分子塗布)、消費電力低下の4つを大きな開発テーマに掲げており、日本の有機 EL の競争力向上に不可欠な基盤技術の開発が期待される。消費電力を LCD の半分程度にし、第6世代(40型程度)のディスプレイ量産を目指している。

有機 EL の研究開発に関する国による主な研究開発プロジェクトを第2-3-7-10表に示す。

第2-3-7-10表 有機 EL に関する主な国家プロジェクト

プロジェクト名	期間	金額
高効率有機デバイスの開発	2002年～2006年	46億円
高分子有機 EL 発光材料開発プロジェクト	2003年～2005年	13億円
次世代大型有機 EL ディスプレイ基盤技術の開発	2008年～2012年	35億円(予定)

注：ファンディング機関はすべて NEDO

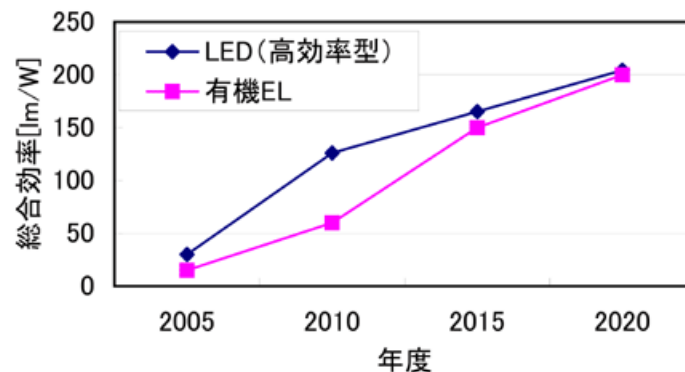
出典：NEDO ホームページより作成

(5) 今後の展開

有機 EL ディスプレイの本格普及に向けての最大のネックはコストである。コスト高の原因の一つが材料で、現在は30cm 四方のデバイスを作るのに、20万円以上の材料費がかかるといわれている。もう一つの原因は製造プロセスが確立していないことであり、こちらは現在の NEDO プロジェクトでのブレイクスルーが期待されている。有機 EL ディスプレイの製造プロセスの多くは LCD の製造プロセスと類似であるため、製造装置の転用などによる低コスト化(LCD からの移行の容易化)も開発されている。

照明用途となると、大量普及の競争相手が蛍光灯であるため、コストのハードルはディスプレイに比べさらに高い。しかし、有機 EL 照明は面照明でデザイン面での自由度が高く、飲食店等の特殊用途では早くに実用化が進むことが期待されている。技術面でも現在実用化されている有機 EL ディスプレイレベルの明るさ(輝度:数百 cd/m²)では、照明用には使えず、数千 cd/m²の輝度が必要となる。さらに、有機 EL は輝度を上げるために電流密度を上げると、寿命が短くなるという性質がある。今後の研究開発では、このジレンマを解決する必要がある。ただし、試作品レベルでは、有機エレクトロニクス研究所により、5000cd/m²で、蛍光灯波の寿命1万時間と白熱等を超える発光効率20lm/W 以上を達成しており、今後は量産化に向けた取り組みが期待される。次世代照明としては、LED が競合として見られているが、面光源と点光源という違いがあり、それぞれの用途で普及が進むものと考えられている。効率面では以下のようなロードマップが描かれており、LED との格差は縮まっていくことが予想される(第2-3-7-11図)。

第2-3-7-11図 有機 EL 照明の総合効率（製品としての効率）の向上見込み（LED との比較）



出典：科学技術政策研究所「省エネルギーに寄与する照明の効率化技術」科学技術動向2009年1月号

プラスチック等を基板にしたフレキシブルディスプレイについては、さまざまな民間企業や研究機関で研究は進められているものの、耐久性、寿命、輝度等技术的なハードルが高く、実用化の目途は立っていない。ディスプレイは広げて使うものであり、フラットな方が当然見やすいため、柔軟性を持たせて丸めたりできることにどれだけの付加価値があるのかが問われている。

有機 EL 研究には、材料を扱う化学の知識と電子デバイスを扱う工学の知識が必要になる。有機 EL は劣化機構など根源的な部分がまだ分かっておらず、構造的な解析等の基礎研究が必要である。そのためには、研究人材の育成、教育カリキュラムの整備が求められる。

有機 EL の研究は、有機レーザー、有機太陽電池など有機半導体研究全体にもつながり、無機（シリコン系）半導体に次ぐ、大きな研究領域・産業分野になる可能性を秘めている。

(6) 参考文献

- ・ 城戸淳二「有機 EL のすべて」日本実業出版社、2003
- ・ 時任静士・安達千波矢・村田英幸「有機 EL ディスプレイ」オーム社、2004
- ・ 坂本雅明「東北パイオニア有機 EL の開発と事業化」大河内賞ケース研究プロジェクト、2005
- ・ 特許庁「技術分野別特許マップ 有機 EL」1999
- ・ 社団法人日本電球工業会「電球工業会報 No.493,495,497,499」2008
- ・ 九州大学未来科学創造センター光化学材料部門安達研究室 HP
(<http://www.cstf.kyushu-u.ac.jp/~adachilab/index.html>)
- ・ DisplaySearch社プレスリリース (<http://www.displaysearch.com/>)
- ・ 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 HP
(<http://www.nedo.go.jp/index.html>)
- ・ 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「未来へ広がる産業技術とエネルギー成果レポート最前線2008」2008
- ・ 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「FOCUS NEDO 洞爺湖サミット特集号 未来を照らす有機 EL 照明」2008
- ・ 科学技術政策研究所「省エネルギーに寄与する照明の効率化技術」科学技術動向2009年1月号

8. 事例8 ユビキタス社会を支えるメモリと高速無線通信ネットワーク

(1) 事例の背景

情報通信技術の高度化を前提として、ユビキタス社会の到来が期待されており、すでに一部は実現しつつある。

ユビキタス社会とは、「いつでも、どこでも、誰でも、ネットワークを意識することなく情報にアクセスできる社会」であり、このような情報の活用によって国民生活における安全・安心の向上、利便性の向上のほか余暇生活の充実、場所を選ばずに様々な業務が可能となる、といった方向を目指すものである。こうしたユビキタス社会により、日本中のどこにいても、国民ひとりひとりが安心して、豊かで実りある生活を享受できる社会を実現し、さらには、長期的な人口減少(第2-3-8-1図)がもたらすマイナススパイラル^(注)にも抗していくことが期待される。

内閣府の「イノベーション25」でも、たとえば、ネットワークを通じて常時健康診断が受診でき、生活習慣の改善へのアドバイスを対面に近い臨場感で受けるなどのアプリケーションを通じて予防医療が個人レベルで実施可能となるような社会像が描かれている。同様に、要介護者の過去の履歴がネットワークを通じて送られ、環境から取り入れる様々な情報と統合して適切な動きを実現する高度介護ロボットも描かれており、このような社会の実現はいずれも遠い夢ではないだろう。

ユビキタス社会を迎えるにあたって必要な要素技術は多々あるが、大量な電子データの蓄積と場所を選ばないやり取りが前提となることから、とりわけ、メモリと無線通信ネットワークの技術が重要となる。よって、この2つに的を絞って技術の発展と、それらへの国の関与を述べる。

データ蓄積に用いるメモリについては、電子機器の根幹を成す技術の一つとして PC から家電、様々な携帯型の機器(音楽プレーヤー、携帯電話、携帯型ゲーム機等)に至るまで、多くの機器に搭載されている。搭載される機器が小型化する一方で、メモリの大容量化への消費者ニーズも満たしながら、小型かつ大容量という高度な要求に微細化・高密度化技術で応じてきた。

データのやり取りを媒介する無線通信ネットワークについては高速化の道をたどっており、すでに日本においては、インターネット接続によるウェブのブラウジングや無線通信ネットワークを通じた動画の視聴も可能なサービスが展開されている(注:ワンセグは放送波を利用するものであり別)。

メモリの高密度化と無線通信ネットワークの高速化の分野においては、日本はフロントランナーの一つとして国際的に大いに貢献してきている技術である。以下、この分野の研究開発の経緯や今後の展開について述べる。

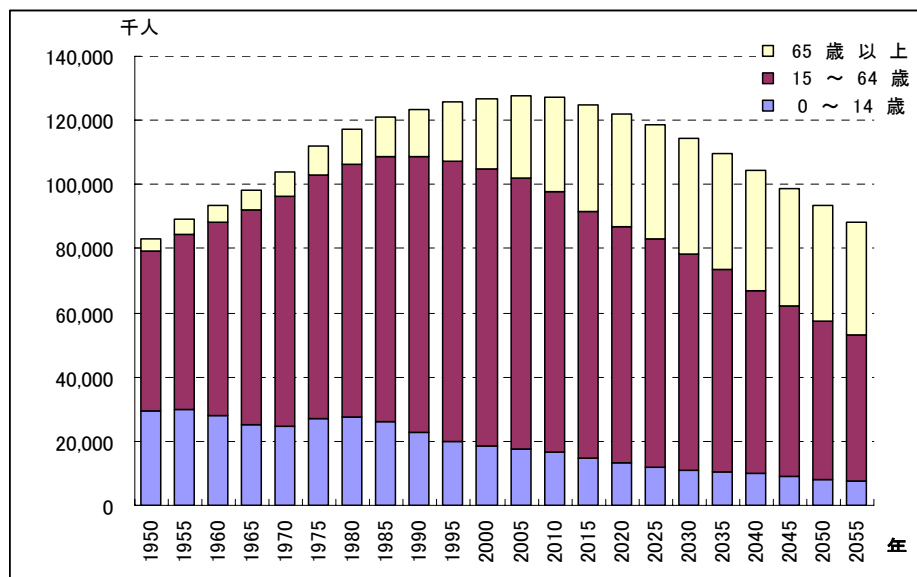
(2) 研究開発の経緯

①メモリの高密度化の経緯

現在市販されて利用されているメモリは、主に PC やサーバ内部で一時メモリとして活用される DRAM と、USB メモリやメモリーカード、携帯電話内部で用いられるフラッシュメモリ(NAND、NOR)が大半を占めている。本項においては、DRAM とフラッシュメモリについて、その原理の発明から商品化に至るまでの過程について概観する。

(注) 人口減少のマイナススパイラルとは、地域社会において、「人口の減少から住民の社会生活を支える施設の利用が不便になったり、伝統工芸や地域固有の文化の喪失により地域の魅力が薄れ、さらに人口が減少するという悪循環」や、「労働力の確保が困難となり、地域からの企業の流出を招くことで、地方財政面で税収を低迷させ、これによる自治体財政の悪化から行政サービスが低下して、人口流出が一層深刻化するという負の連鎖」を指す。

第2-3-8-1図 年代別日本の人口の推移・将来推計



注：2005年度までの人口については、各年の国勢調査実績値を、2010年度以降の人口については、人口問題研究所による平成18年12月推計値を用いた

出典：人口問題研究所「日本の将来推計人口」、国勢調査データをもとに、(株)三菱総合研究所にて作成

①-1 DRAM

DRAMは、Dynamic Random Access Memory(ダイナミック・ランダム・アクセス・メモリ)の略称であり、キャパシタ(コンデンサ)に電荷を蓄えることで情報を保持記憶し、電源が切れると記憶情報も失われる揮発性のメモリである。その原理故に、長期記録の用途には向かず、情報処理過程の一時的な作業記憶の用途に用いられる。

DRAMを世界で最初に販売したのは米国Intel社であり、3つのトランジスタにより1つのメモリセルを構成する3トランジスタセルの原理によるDRAMを、1970年に発売し、1973年に量産化の体制へ移った。その後、デナルド(Dr. R.H.Dennard)により、1キャパシタ型のメモリセル(1トランジスタ型のメモリセル)が提案され、以降約10年に渡ってメモリ技術として用いられたが、4MビットDRAM以降、当時の技術での微細化限界に到達した。

こうした流れの中で、1978年に(株)日立製作所の小柳(のちに東北大学教授)が平面的に配置していたメモリセルを3次元構造化したスタックドキャパシタ型によるメモリ技術を発表した。同技術は、市場での競争の中で世界の標準規格の地位を得て、以降フィン型スタックセル(4M-64M)、円筒型スタックセル(64M-4G)、ピラー型スタックセル(4G以上)と、若干のメモリセル形態を変えつつも、2009年現在時点でも、この3次元構造のコンセプトでDRAMは作られている。

①-2 フラッシュメモリ

フラッシュメモリ(flash memory)は、書き換えが可能であり、電源を切ってもデータが消えない不揮発性の性質を持つ半導体メモリである。記憶セルの接続構造により大きくNAND型フラッシュメモリとNOR型フラッシュメモリなどに分けられる。NAND型は、高集積化に向いており、書き込みを高速に行える利点を持つが、1バイト単位の読み出しはできず、ランダムアクセスによる読み出しが低速である欠点を持つ。一方、NOR型は、1バイト単位の読み出しが可能で、高速にアクセスが可能

な利点があるが、書き込みは低速であり、またメモリセルの構造の関係で、NAND 型に比べて書き込みの高速化には向いていない。

フラッシュメモリの原理については、1980年～84年にかけて、(株)東芝の舩岡(のちに東北大学教授)が NOR 型・NAND 型の原理を発明し、以降市場での販売・普及等を通じて、現在でも標準的に利用される技術となっている。

現在では NOR 型は主に携帯電話用途で、NAND 型は主に USB メモリやメモリーカードに広く使われており、またハードディスクドライブ(HDD)のように利用できる SSD(Solid State Drive/Disk)といった大容量の記憶装置(ストレージ)でも使われるようになっている。

第2-3-8-2表にメモリの開発と商品化の経緯について示す。原理が発明されて以降、基本的には DRAMもフラッシュメモリも回路の微細化を図ることにより、単位面積あたりのトランジスタの集積度を向上させ、高密度化を図ってきた。

第2-3-8-2表 メモリの開発・商品化の経緯

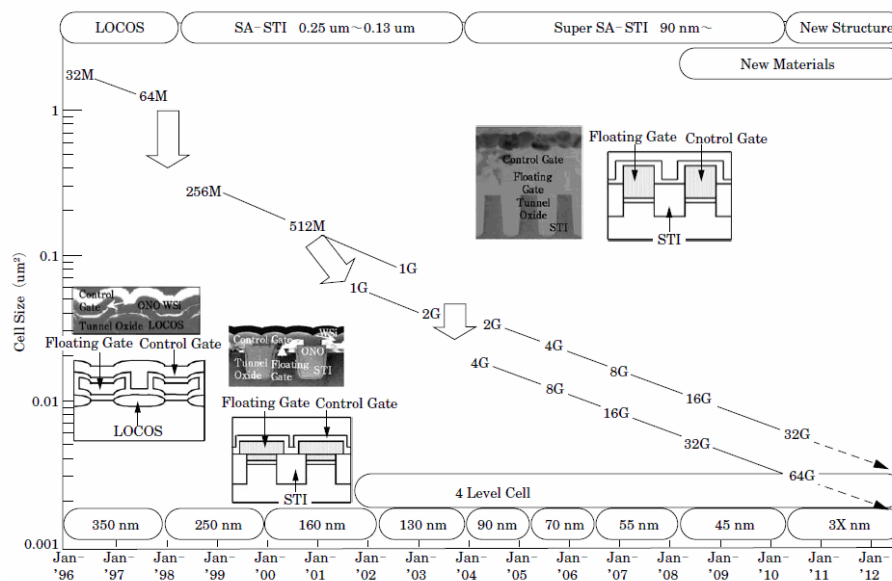
年代	DRAM	フラッシュメモリ
1970s	1970 : Intel が1K ビット DRAM を開発(最初に登場した DRAM) 1974 : Dennard 博士が、1トランジスタ型セル技術を提案。IBM より販売 1978 : 小柳光正博士(日立製作所、後・東北大)がスタックドキャパシタ型メモリ技術を発明	
1980s	1980 : 小柳光正博士、COB(Capacitance Over Bit Line)型のスタックセルを発表	1980-84 : 舩岡富士雄博士(東芝、後・東北大)が、フラッシュメモリの原理(NOR 型・NAND 型)を発明 1988 : Intel、NOR 型フラッシュチップ開発 1989 : 東芝、NAND 型フラッシュチップ開発
1990s		1992 : 東芝、16MB NAND フラッシュ型メモリ製品化 1996 : Smart Media、フラッシュメモリカード製品化

出典:(株)三菱総合研究所作成

なお、第2-3-8-3図にフラッシュメモリの技術ロードマップの実例をあげ、微細化と高密度化の歴史的変化を示す。回路の微細化と共に、容量の拡大は続いており、この微細化・高密度化は「ムーアの法則」^(注)に従っていることがわかる。

(注) インテルの共同創業者であるゴードン・ムーアが提唱し、集積回路におけるトランジスタの集積密度が、18～24か月ごとに2倍になる、という経験則である。

第2-3-8-3図 NAND型フラッシュメモリにおける微細化と高密度化の経緯(実例)



出典:土屋 憲司「2-3. 半導体メモリーの動向」映像情報メディア学会誌 60, 1, pp.20-23 2006年

また、容量の拡大と同時に、省電力化(低電圧化)や高速化も同時に行われてきている。こうした発展の背景には高密度化等を可能にする微細化技術のトレンド的な進化はもとより、さらなる容量増大や省電力・高速化への社会の強いニーズの存在があると考えられる。

②無線通信ネットワークの高速化の経緯

無線通信ネットワーク技術は、民間企業・国際標準化団体などが中心となってグローバルに規格化を進めてきており、メモリ技術と比較すると、国内の特定の研究成果が大きな影響を与えた、という面は少ない。

通信速度を高速化する方法としては、基本的には利用する周波数帯域を広げる必要があり、そのためにはより高周波領域の電波を用いることになる。また、電波は法律で周波数ごとに用途を定めながら利用拡大を続けており、時代とともに、高周波への移行を続けてきた。周波数が高くなるに従い高度化する技術に対応しなければならないが、通常のシリコンを用いた半導体だけでは電気信号を増幅^(注)することは難しくなると考えられ、新たな半導体素材が求められてきた。

1980年代に日本で登場したガリウム砒素を用いた半導体や、1990年代後半にかけて、リン化インジウム系材料や、青色発光ダイオードでも用いられた窒化ガリウムといった新素材により、より高周波かつ高出力動作の半導体が登場し、携帯電話を始めとする無線通信機器の低消費電力化、また高速化を可能とした。

第2-3-8-4表に実際に無線通信ネットワークを用いた商品・サービスの展開を示す。

(注) 携帯電話を始めとする無線通信機器においては、受信した微弱な電波による電気信号を増幅する必要があり、そのための増幅器として半導体を用いられている。

第2-3-8-4表 無線通信ネットワーク(携帯電話・無線 LAN)商品・サービスの展開

携帯電話	
1987	国内初の携帯電話サービスである1G(第1世代)開始
1993	デジタル方式(800MHz)サービスである2G(第2世代)が開始
1995	通信速度9600bps の高速データ通信
1999	デジタル方式へ全て移行 i-mode サービス開始
2001	3G(第3世代)サービスが開始(サービス名:FOMA, Win 等)
2005	3.5G(第3.5世代)サービス(HSDPA 方式)が開始
2010	3.9G(第3.9世代)サービス(LTE 方式)が開始予定
無線LANなど	
1993	無線 LAN サービス、国内で最初の商品化
1998	IEEE 802.11 規格が標準化
2002	公衆無線 LAN サービス開始
2009	モバイル WiMAX サービス開始

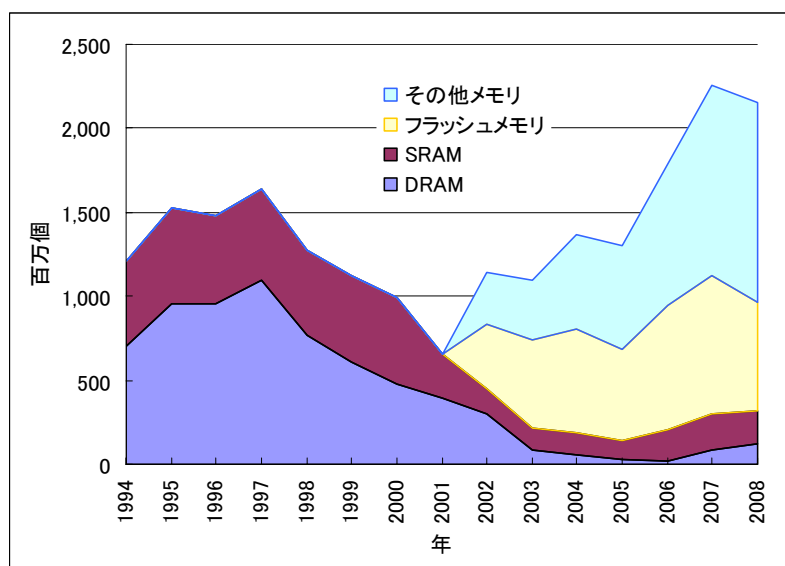
出典:(株)三菱総合研究所作成

(3) 科学技術成果のインパクト

① 経済的インパクト

日本企業が国内で生産したメモリの種類別の販売個数を第2-3-8-5図に示す。
近年、DRAM の生産では他国の追い上げが激しく、日本企業の生産体制は DRAM からフラッシュメモリに移りつつあることを示している。

第2-3-8-5図 メモリ種類別販売個数実績

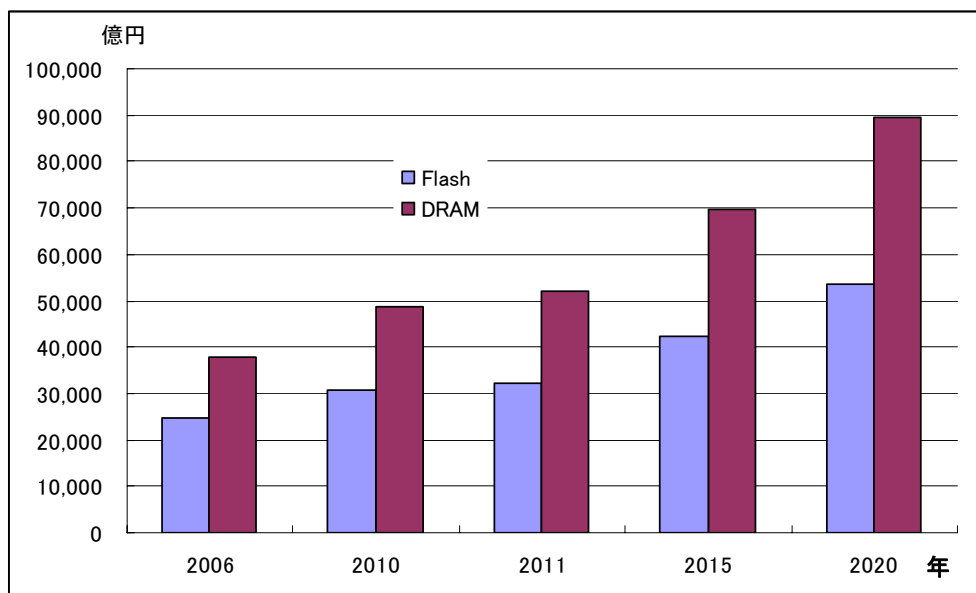


出典: 経済産業省 機械統計(半導体)

但し、近年の傾向から、今後もメモリの販売価格の下落は見込まれるものの、携帯電話やデジタル家電・ネットワーク関連機器を中心にメモリ需要量の拡大もあり、DRAM・フラッシュメモリ共に今

後も全世界における金額ベースの市場規模は大きく拡大していくと考えられる。2020年には DRAM が9兆円、フラッシュメモリが5兆円強の市場規模と、共に2010年からの10年で2倍弱の成長が予測されている(第2-3-8-6図)。

第2-3-8-6図 DRAM・フラッシュメモリ 世界市場規模予測



出典：(財)新機能素子研究開発協会 委託調査「不揮発性機能素子の将来動向に関する調査」2008年3月をもとに、
(株)三菱総合研究所にて作成

②社会的インパクト

現在までも、国民全体に広く普及している携帯電話を始め、大容量のメモリを使った製品や高速の無線通信ネットワークを使ったサービスは社会に大きな影響を与えてきている。さらに今後は、これまでの製品やサービスを充実させ、より高度化した展開、例えば医療・福祉分野への高度応用などが考えられ、国民の安全・安心などの観点でも大きく貢献していくことが期待される。

③国民生活へのインパクト

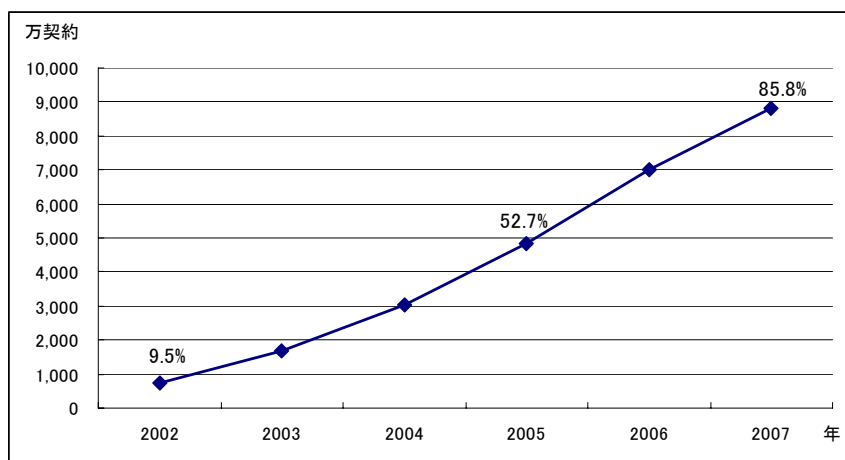
これまでに、メモリの高密度化や無線通信ネットワークの高速化が与えてきた国民生活へのインパクトとしては次のようなものがある。

- ・フラッシュメモリを利用した MP3プレーヤーなど、高密度メモリや高速無線ネットワークは音楽や高画質写真・動画のコンテンツの流通を促して国民生活を豊かにし、新たな文化の創造にも貢献した。

- ・i-mode を始め、3G 携帯の登場などにより、人々のライフスタイルを変更してきた。音声通話機能だけではなく、データ通信に関して高度な機能を兼ね備えた3G 携帯電話の加入者数は2002年以降、順調に増加し、現在では国内で約9000万契約(全体の85.8%)を超える(第2-3-8-7図)。こうした携帯電話の通信機能により、例えば、知らない場所でも携帯電話があれば、いつでも・どこでも最適な電車の乗換え案内情報を得ることや、急に飲食店に行くことになっても近くの好みの店を調

べることを可能にするなど、ライフスタイルの面で国民生活を豊かにしてきた。

第2-3-8-7図 国内における第3世代携帯電話加入者数



出典：社団法人電気通信事業者協会 テレコムデータブック2008

(4) 政府の果たした役割

①メモリ技術の開発において、政府の果たした役割

メモリの高密度化において政府が果たした役割は以下の点である。

- ・ メモリをはじめとした半導体技術に関する多くの基礎技術の蓄積
- ・ 産学連携により、企業で活躍する人材を育成

政府の果たした役割としては、経済的効果以上に技術蓄積という観点での効果にも触れておきたい。最終的に市場の中での競争や標準化などの過程で生き残る技術は極めて少数であるものの、その背後に多くの研究開発段階で試行錯誤を重ねた技術があり、そのような技術は互いに競い合う中で最終的に残った標準技術をさらに磨かれたものになっている。こうした形で、全体的なメモリに関する基礎技術の蓄積を政府が支援してきたほか、過去においては、基礎的技術の蓄積が、実際に経済的成功にまで導いた例もある。以降、半導体黎明期の70年代から現代にかけて行われた国の関与したメモリ研究開発プロジェクト(第2-3-8-8表)について述べる。

第2-3-8-8表 メモリの開発・商品化の経緯

年代	国家プロジェクト
1970s	1976-80 超LSIプロジェクト
1980s	超格子プロジェクト(基礎研究)
1990s	量子機能素子プロジェクト(基礎研究)
2000s	応用研究へ回帰し、各種大型国家プロジェクトを進める MIRAI プロジェクト: 2001~2010、HALCA プロジェクト: 2001~2003

出典：(株)三菱総合研究所作成

70年代後期における国の大型支援(「超 LSI プロジェクト」)もあり、80年代には日本の半導体機器メーカーは世界の半導体市場でシェア5割超を占めるなど、圧倒的な強さを誇り、以降はメーカー主導で半導体の研究開発が行われるようになった。

その後80年代～90年代にかけては、政府が支援する研究開発としては「超格子プロジェクト」や「量子機能素子プロジェクト」があり、メモリを始め、全く新しい動作原理に基づくデバイスを開発する基礎研究へシフトした。「超格子プロジェクト」は薄膜技術を中心とした研究であり、その成果も活用しつつ、「量子機能素子プロジェクト」において単一の電子を量子ドットに閉じ込める単一電子素子の研究が盛んに行われた。

一方で、その間に米国や新興アジア諸国の追い上げがあり、日本の半導体産業の地位は下がりつつあった。半導体微細化技術の限界の近づきも指摘される中で、2000年代からの国家プロジェクトである「MIRAI(Millennium Research for Advanced Information Technology) プロジェクト」や、民間プロジェクトである「あすかプロジェクト」が立ち上げられ、再び実用化を意識した研究が行われるようになった。

「あすかプロジェクト」は、半導体デバイスメーカーを中心に民間企業が出資して、企業で見通しをつけている量産技術の1つ先の微細化技術世代の量産技術を実証する、というコンセプトで研究開発を行うプロジェクトである。またもうひとつ、産官学共同研究における産業界窓口として、独立行政法人の研究所や大学との交流・連携の拠点にすることも構想に入れたプロジェクトでもある。一方、「MIRAI プロジェクト」は、今後半導体がますます微細化を進めるにあたって、どのような材料を使ってどのようなプロセスで加工すべきかがはっきりしていない技術をテーマに、「あすか」のもう一歩先の研究を進める、とのコンセプトで研究が進められてきた。このプロジェクトの参加企業は半導体デバイスメーカーから装置・材料メーカーまでに及ぶ、複合プロジェクトである。また、コンセプトの関係上、「MIRAI」から「あすか」へと受け継がれた技術も多い。

この他にも、技術研究組合として、半導体デバイス、磁気ストレージ及び液晶ディスプレイの先端要素技術の研究開発を目的に1996年には超先端電子技術開発機構(ASET)が設立された。その後も、EUV(極端紫外線)リソグラフィの研究開発のために2002年に極端紫外線露光システム技術開発機構(EUVA)が、また、材料研究を目的にして主要な半導体材料メーカーが結集して2003年に次世代半導体材料技術研究組合(CAMSAT)がそれぞれ、設立されている。

これらのプロジェクトで得られた研究成果は、企業や大学などさまざまな組織・形で活用されているほか、冒頭に挙げたもうひとつの貢献である人材育成もこれらのプロジェクトを通じて行われ、その経験を活かして企業などで活躍する効果ももたらしている。

第2-3-8-9表に、前述の「MIRAI プロジェクト」等のプロジェクトも含め、メモリ開発に関して過去に経済産業省や文部科学省で近年行われてきた、あるいは進行中の主要な研究の名称と投入金額の一覧を示す。

第2-3-8-9表 メモリに関する研究開発プロジェクト

プロジェクト名		期間 *	予算 (億円)
経済産業省			
	超高密度電子 SI 技術プロジェクト	1999-04年度	47
	HALCA(高効率次世代半導体製造システム技術開発)プロジェクト	2001-03年度	17
	スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト	2006-10年度	32
	立体構造新機能集積回路(ドリームチップ)技術開発	2008-12年度	60
	極端紫外線(EUV)露光システム開発プロジェクト	2004-07年度	124
	次世代プロセスフレンドリー設計技術開発	2006-10年度	46
	次世代回路アーキテクチャ技術開発事業	2008-12年度	13
	半導体アプリケーションチッププロジェクト	2003-09年度	162
	MIRAI 1期 (ハーフピッチ 65nm の実現)	2001-03年度	138
	MIRAI 2期 (ハーフピッチ 45nm の実現)	2004-05年度	86
	MIRAI 3期 (超低電力 LSI の実現)	2006-10(08)年度	162
文部科学省			
	大野半導体スピントロニクス(ERATO)	2002-07年度	44
	極端紫外(EUV)光源等の先進半導体製造技術の実用化	2003-07年度	45
	高機能・超低消費電力コンピューティングのためのデバイス・システム 基盤技術の研究開発	2007-11(08)年度	10

注：期間に括弧が付記してあるものについては、予算の額は括弧内該当年度までの実績を意味する。

出典：(株)三菱総合研究所作成

②高速無線通信ネットワーク技術の開発において、政府の果たした役割

通信速度の高速化において政府が果たした役割は以下の3つである。

- ・ 無線通信ネットワークに関する多くの基礎技術の蓄積
- ・ 産学連携により、企業で活躍する人材を育成
- ・ 総務省による適切な周波数の割り当てによる効率化

無線通信ネットワークに関してもメモリ同様に、技術蓄積と人材育成の役割を政府が果たしてきたことの貢献は大きい。

但し、メモリと比較すると無線通信ネットワークに関する技術は IEEE (アイトリプルイー、The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.の略称でアメリカ合衆国が本部の電気・電子技術分野の学会)や3GPP(Third Generation Partnership Project の略称)等の国際的な協調の枠組みの中で培われてきた傾向が強い。

無線通信ネットワークの素材技術に対する国の貢献としては、1980年代、通産省(当時)による大型研究プロジェクトの一貫で、シリコンよりも高速に動作する半導体の研究がすすめられた。この研究成果であるガリウム砒素 IC はその良好な高周波特性から、低雑音の通信機器に多用されることになる。また、携帯電話の変調方式の技術については、日本電信電話株式会社(NTT、当時の日本電信電話公社)の技術開発が基盤として少なからず寄与している。

近年においては、総務省によりIT社会・ユビキタス社会を目指して大きくe-JapanⅡ「世界最先端IT国家実現重点研究開発プロジェクト」やu-Japanといった政策・計画が行われている(第2-3-8-10図)。2004年に打ち出されたe-JapanⅡ戦略の中で、戦略的情報通信研究開発推進制度[SCOPE](2002-08年:189億円)といった情報通信技術(ICT)分野に特化した競争的研究資金制度が開始されたほか、同2004年開始のu-Japan政策の中では、いくつかの大型プロジェクトや個別研究開発が政策パッケージとして盛り込まれた。u-Japan政策において具体的には、次世代の無線LANの基本技術や、状況に応じてさまざまな規格の無線通信を利用するソフトウェア無線通信技術に関する研究が、国の予算を投じて行われている。

2005年までに世界最先端のIT国家を実現

e-Japan戦略 (2001年1月)

- ◆IT基本法
- ◆IT戦略本部設置 (本部長：内閣総理大臣)

(重点分野) ブロードバンドインフラ等の基盤整備

e-Japan戦略II (2003年7月)

(重点分野) IT活用重視 (先導7分野)

- ①医療 ②食 ③生活
- ④中小企業金融 ⑤知
- ⑥就労・労働
- ⑦行政サービス

IT政策パッケージ (2005年2月)

IT新改革戦略 (2006年1月)

いつでも、どこでも、誰でもITの恩恵を実感できる社会の実現

IT新改革戦略政策パッケージ (2007年4月)

世界のIT革命を先導するフロンティアランナー

自律的IT社会の実現

社会の実現

ユビキタスネット

「e-Japan重点計画」 (2001/3)

「e-Japan重点計画」 (2002/6)

「e-Japan重点計画」 (2003/8)

「e-Japan重点計画」 (2004/6)

「e-Japan重点計画」 (2004/12)

「e-Japan重点計画」 (2006/7)

「重点計画」 (2007/7)

世界最先端の評価・検証 (評価専門調査会)

「いつでも、どこでも、誰でも、何でも」簡単にネットワークにつながる

u-Japan推進計画2006 (2006/9)

総務省の情報通信政策

総務省のu-Japan政策

2001 2003 2004 2005 2006 2007 ~

e-Japan や u-Japan 政策の下で過去に総務省や、同省が所管する(独)情報通信研究機構(NICT)で近年行われてきた、あるいは進行中の主要な研究の一覧を第2-3-8-11表に示す。

第2-3-8-11表 無線通信ネットワークに関する研究開発プロジェクト

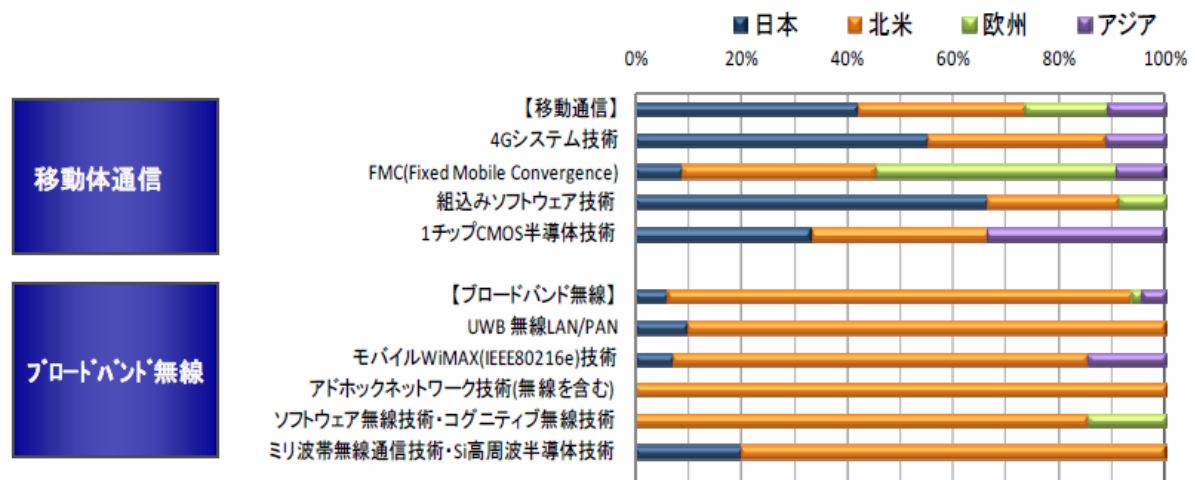
プロジェクト名		期間 *	予算 (億円)
第4世代移動通信システム実現のための研究開発(2002～2005年度)		2002－05年度	34
超高速ギガビット無線LANの研究開発		2004－08年度	14
移動通信システムにおける周波数の高度利用に向けた要素技術の研究開発			
主要プロジェクト	複数基地局連携送信によるユーザスループット高速化技術の研究開発	2007-09(08)年度	3
	第4世代移動通信システムにおけるモバイル QoS 制御技術の研究開発	2007-09(08)年度	3
	車車間通信の実現に向けた周波数高度利用技術の研究開発	2007-09(08)年度	6
	800MHz 帯映像素材中継用移動通信システムの高度化のための研究開発	2006-09(08)年度	3
	異なる大きさのセルが混在する環境下における複数基地局間協調制御技術の研究開発	2008-11年度[2008]	4
	異種無線システム動的利用による信頼性向上技術の研究開発	2008-11年度[2008]	7
	同一周波数帯における複数無線システム間無線リソース制御技術の研究開発	2008-11年度[2008]	5
	異種無線システム協調制御による周波数有効利用技術の研究開発	2008-11年度[2008]	11
	異種無線システム対応端末技術の研究開発	2008-11年度[2008]	4
未利用周波数帯への無線システムの移行促進に向けた基盤技術の研究開発			
主要プロジェクト	基幹用ミリ波帯無線伝送システムの実現のための基盤技術の研究開発	2005-08年度	18
	無線アクセス用ミリ波帯無線伝送システムの実現のための基盤技術の研究開発	2005-09年度(08)	15
	ミリ波帯無線装置の高能率化技術の研究開発	2005-08年度	9
	ミリ波帯無線装置の低コストの小型ワンチップモジュール化技術の研究開発	2005-08年度	11
	ミリ波ブロードバンド通信システム用アンテナ技術の研究開発	2005-09年度(08)	8
	ミリ波帯高速移動体通信システム技術の研究開発	2005-09年度(08)	11
	ミリ波帯高精細映像伝送技術の研究開発	2006-09年度(08)	5

注：期間に丸括弧が付記してあるものについては、予算額は該当年度までの実績を意味する。また、[]の括弧によるものは、その年度内のみの実績を示している。

出典：(株)三菱総合研究所作成

こうした研究開発を通じて、例えば「ミリ波帯無線装置の低コストの小型ワンチップモジュール化技術の研究開発」プロジェクトでは、この技術に欠かせない高周波の1チップ CMOS を用いた発信機試作において、(株)日立製作所が28GHzで世界最高レベルの良好な特性を確認するなど、具体的な成果もあげている。このことは我が国における1チップ CMOS 技術が、世界の中での競争力も非常に高いと有識者が評価されるなど(第2-3-8-12図)、着実な実績にもつながっている。

第2-3-8-12図 現在、各技術で世界第一線にあると考えられる国・地域（有識者アンケート）



出典：総務省「ICT 分野における研究開発状況の国際比較に関する調査」2008年3月

以上のような研究開発や人材育成での役割に加えて、総務省では、モバイルブロードバンドサービス向けに周波数を割り当ててきており(1.7GHz 帯におけるイーモバイル、2.5GHz 帯におけるWiMAX や次世代 PHS への割り当て)、冒頭に掲げた周波数の割り当てによる効率化や電波資源の有効利用の点でも、重要な役割を担ってきている。

また一方で、通信においては純粋な技術開発以外にも、成果技術の国際標準化がもたらす影響が大きな意義を持つこともある。このことを意識し、(独)情報通信研究機構(NICT)では IEEE への積極的な関与を続け、IEEE1900.4の策定にも寄与するなど、技術開発の環境整備にも力を注いでいる。

(5) 今後の展開

ユビキタス社会の実現を目指すためには、今後もメモリのさらなる大容量化(同時に低消費電力化や処理の高速化)や無線通信ネットワークの高速化(同時に高信頼化)の研究を進めていく必要がある。

① メモリ

DRAM もフラッシュメモリも、微細化の物理的限界が早晚訪れる可能性が徐々に高まってきており、同時に研究に要する投資規模はますます大きくなっていることから、リスクも負担も大きくなってきた。このことから、現在の技術の延長にない新しいメモリの実現に向けて、経済産業省等による支援で研究プロジェクトが行われるようになってきた。

これらの研究は、新しい半導体材料・プロセスなどにより、既存のメモリとは異なる記憶メカニズムの素子を作り出す研究と、既存のメモリ技術を活用しながらそれを3次元に積層することで、従来以上の容量や性能を発揮することを目指す研究に、大きく2分することになる。

前者としては、例えば DRAM に代わる新原理で動くメモリとして Re-RAM が、NEDO「スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト」(2006～10年度32.4億円)において研究されており、研究に成功すれば「電源を入れた瞬間に起動するモバイル機器」が可能となるなどの期待がある。

後者としては、同じく NEDO「立体構造新機能集積回路(ドリームチップ)技術開発」(2008～12年度、初年度:12億円)のプロジェクトにおいて現在も研究が進められている。

② 無線通信ネットワーク

無線通信ネットワークとしては、携帯電話のほかにもインターネット接続のための高速無線通信ネットワーク整備が進められてきており、今後の高速化の見通しをみても重要な位置づけであり続けるものと考えられる。

今後の携帯電話については、現在の第3世代や第3.5世代と呼ばれる世代が複数の方式の並立を呈しているのに対し、次世代の携帯電話については、第3.9世代との呼称もあるLTE(Long Term Evolution)方式に集約化していく見通しである。

次世代携帯電話以外の高速無線通信ネットワークとしてはモバイル WiMAX が、先にサービスインしている米国・韓国に続いて、日本でもサービスが開始されている。こうした高速無線通信ネットワークサービスの提供見通しを踏まえ、国においても次のような技術開発が進められている。

②-1 ソフトウェア無線技術

ソフトウェア無線技術は、ユーザーが位置する場所において最も適切な方式や周波数帯域を自動的に選択してワイヤレスブロードバンドのサービスをシームレスに提供可能とする技術であり、これを実装する端末においては、1チップ CMOS 半導体技術が活用されている。

国のプロジェクトとしては、総務省の「第4世代移動通信システム実現のための研究開発」において開発が進められた。また、ソフトウェア無線の効果的活用基盤を整備しつつ、第4世代移動通信システムのもとでの効率的な電波資源活用を図っていくための研究開発として、総務省が「移動通信システムにおける周波数の高度利用に向けた要素技術の研究開発」というテーマで一連の開発が進行中である。

②-2 ミリ波帯無線通信

ミリ波帯無線通信技術は、現在利用されている周波数よりもさらに高い周波数であるミリ波を用いて、近距離での機器間の超高速通信を実現したり、広帯域の通信サービスのアクセスを可能とする技術である。ミリ波帯無線通信では、高出力なミリ波トランジスタの開発が重要な技術課題となっており、窒化ガリウム(GaN)トランジスタやシリコン高周波半導体の開発が行われている。

ミリ波関連の研究開発プロジェクトとしては、総務省の「超高速ギガビット無線 LAN の研究開発」があり、さらに関連する研究開発について「未利用周波数帯への無線システムの移行促進に向けた基盤技術の研究開発」というテーマで研究開発が進行中である。「超高速ギガビット無線 LAN の研究開発」においては、現在商用化されている無線 LAN を大きく上回る3Gbps の通信速度を持つ次の世代の無線通信ネットワークの研究がなされ、一定の研究成果をあげている。

(6)参考文献

<メモリ関連>

- ・ 小林春洋 『次世代半導体メモリの最新技術』日刊工業新聞社、2008
- ・ MIRAI 成果に関する資料
http://www.miraipj.jp/2008/MIRAIPj_081202v1.pdf
- ・ JEITA 半導体研究開発に関する資料
<http://semicon.jeita.or.jp/future08/menu.html>
- ・ 土屋 憲司: “2-3. 半導体メモリーの動向”, 映像情報メディア学会誌, 60, 1, pp.20-23 (2006). http://www.jstage.jst.go.jp/article/itej/60/1/20/_pdf/-char/ja/
- ・ 経済産業省機械統計(半導体)
http://www.semiconductorjapan.net/data/semiconductor_miti.html
- ・ (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構
「次世代半導体材料・プロセス基盤技術の開発(MIRAI)」
<http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p01014.html>

<無線通信ネットワーク関連>

- ・ 総務省 平成20年版「情報通信白書」
<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h20/pdf/index.html>
- ・ 3.9G への周波数割り当て方針に関する総務省資料:
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/2009/pdf/090123_8_bs1.pdf
- ・ GMSK 開発に関する資料:
http://www.dbjet.jp/pub/cgi-bin/detail_jr.php?id=568
- ・ 第3世代携帯電話加入者数に関する資料:
http://www.tca.or.jp/databook/pdf/2008chapter_2j.pdf
- ・ ICT 分野における研究開発状況の国際比較に関する調査
http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/linkdata/other031_200803_hokoku.pdf
- ・ (独)情報通信研究機構(報道発表)
<http://www2.nict.go.jp/pub/whatsnew/press/h20/090226/090226.html>

<その他項目>

- ・ 人口問題研究所「日本の将来推計人口」
http://www.ipss.go.jp/pp-newest/j/newest03/h2_1.html
- ・ 国勢調査 人口統計
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000000090004&cycode=0>

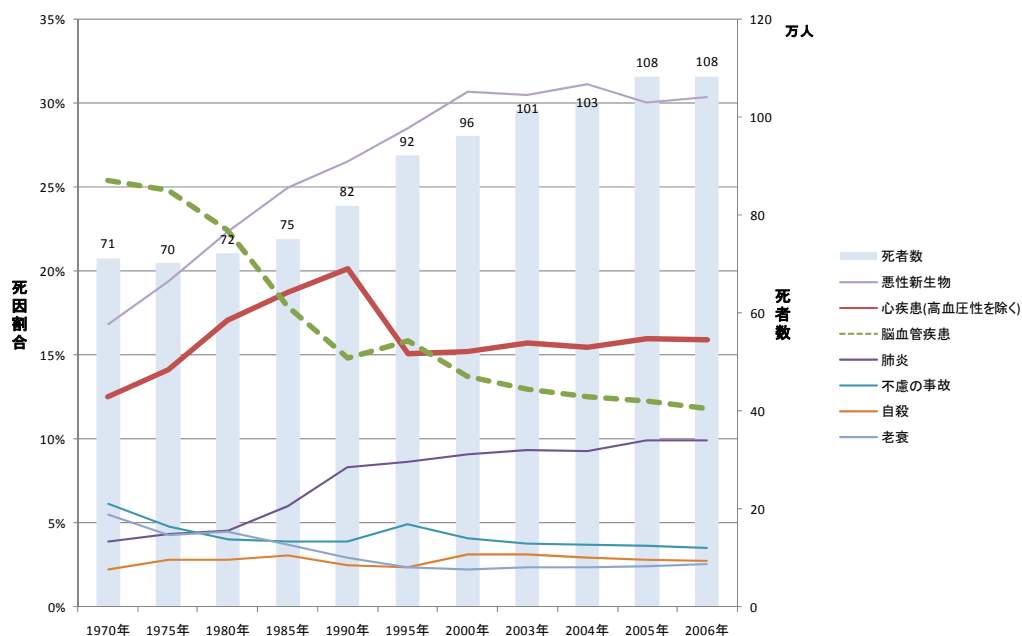
9. 事例9 動脈硬化予防・治療法(高脂血症治療薬)

(1) 事例の背景

日本人の死因は、1980年ころから、1位「悪性新生物(がん)」、2位「心疾患(心筋梗塞など)」、3位「脳血管疾患(脳梗塞・脳卒中など)」である(第2-3-9-1図)。心疾患や脳血管疾患は、動脈硬化性疾患と呼ばれ、脂質代謝異常や、高血圧、肥満、メタボリックシンドロームなどが原因としてあげられる。

我が国は世界に先駆けて高齢化が進んでおり、今後も動脈硬化性疾患による心疾患や脳血管疾患は増加の一途を取ると予測されるため、有効な予防法と治療対策の確立が急務となっている。

第2-3-9-1図 日本人の死因



出典：厚生労働省「人口動態統計 年報」

動脈硬化の発症・進展は、上記に述べたような複数の危険因子が重複かつ密接に関連して引き起こされる。その中でも最も重要な危険因子としては、高脂血症(高コレステロール血症)があげられる。高脂血症の予防・治療には、食事療法や運動などの生活習慣改善も非常に有効であるが、死因のトップが心臓病である米国を中心に、心臓病予防用として、コレステロール低下薬の開発が盛んに行われてきた。しかし、なかなか有効な薬を開発することができず、画期的な新薬の登場が期待され、世界の製薬企業が新薬のタネとなる物質探索研究に注力していた。

(2) 研究開発の経緯

コレステロールは、食事から摂取する外因性のものと、主として肝臓で合成される内因性のものがある。外因性のコレステロールが必要量に満たない場合に、不足分が内因性のコレステロールで満たされる。その内因性コレステロール合成の鍵となる酵素が HMG-CoA(ヒドロキシ・メチルグルタリ

ル・コエンザイム A:hydroxy methyl glutaryl coenzyme A)還元酵素である。つまり、HMG-CoA 還元酵素の働きを阻害すれば、内因性のコレステロール合成プロセスが止まることとなる。

1950年代後半までに、コンラード・ブロックやヒョードル・リネンらの研究で、コレステロールの生合成経路の主要部分は解明されており、上述の HMG-CoA 還元酵素の働きもその中で解明された。その解明により、HMG-CoA 還元酵素の働きを阻害する薬剤の開発が世界で進められ始めた。

世界中で開発競争が進む中、カビとキノコをスクリーニングするという独自の研究手法で、世界で初めて、HMG-CoA 還元酵素阻害薬を発見したのが三共(株)(当時)の遠藤章であった。米国留学時の経験から、「体内のコレステロール合成量を減らせば、血中コレステロール値が下がり、従って冠動脈疾患も減少するはずだ」と考え1970 年コレステロール合成を阻害する物質を探す研究を開始した。

結果として、遠藤は、6000株のカビとキノコを調べ、1973年に、京都近くの田んぼに生えていた青カビ(*Penicillium citrinum*)から、世界最初の HMG-CoA 還元酵素阻害薬(いわゆるスタチンで、発見したのはコンパクチン)を発見した。この発見により、2008年に米国で最も権威がある医学賞であるラスカー賞を受賞している。

遠藤が研究を進めるに当たっては、1985年にノーベル賞を獲得したゴールドスタインの存在が大きかった。ゴールドスタインは、ブラウンとともに、ホモ型家族性高コレステロール血症(ホモFH)^(注1)患者の皮膚の細胞(皮膚線維芽細胞)を用いた実験で、生体内のコレステロール制御機構を解明していた。遠藤はゴールドスタインから研究用の細胞を供与されたり、アドバイスを得たりしつつ研究を進めた。また、スタチンにより、ゴールドスタインらの理論が臨床的に裏付けられるという側面もあり、お互いにうまく研究を補完しあう形で、成果を上げていた。

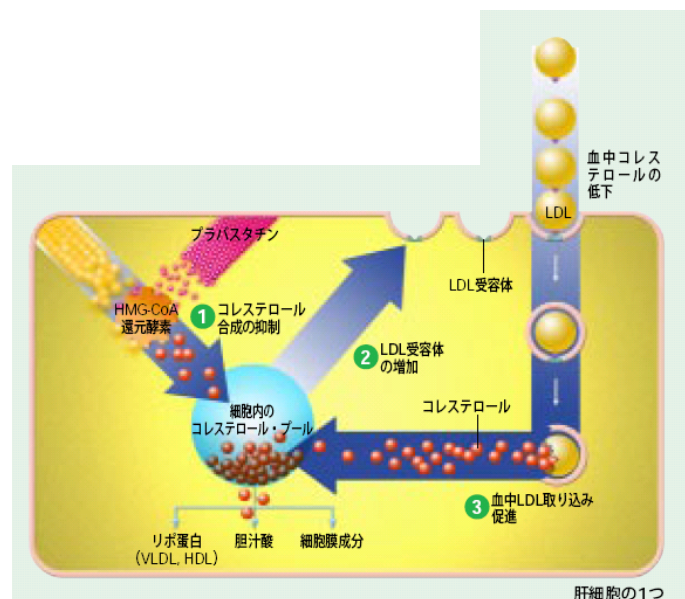
スタチンの作用機構を第2-3-9-2図に示す。スタチンは、以下のステップで血中コレステロール値を低下させる。合成阻害でなく、LDL(low density lipoprotein)受容体^(注2)を通じて、コレステロール値を下げるため、大量の投与が不要となる。

- ① 肝臓における HMG-CoA 還元酵素の阻害により、コレステロール合成が低下し、細胞のコレステロール・プールが減少する
- ② 細胞のコレステロール要求性が高まり、LDL 受容体数が増加する
- ③ LDL 受容体を介してコレステロールに富んだ血中 LDL の取り込み・代謝が促進され、血中コレステロール値が低下する

(注1) LDL 受容体の欠損による遺伝病である、家族性高コレステロール血症のうち、両親が共に血中のコレステロール値が高くなる遺伝子を持っている例。両親からの遺伝子が重なり、血中のコレステロール値がますます高くなる。しばしば10歳代の若い年齢でも心筋梗塞を併発する。両親の一方が遺伝的にコレステロールが高い場合は、ヘテロ型という。

(注2) 肝臓で作られたコレステロールを身体各組織に運ぶのが LDL(低比重リポたんぱく)で、各組織で古くなったり、余ったコレステロールを肝臓に送り返すのが HDL(高比重リポたんぱく:high density lipoprotein)である。LDLが多すぎたり、HDLが少なすぎたりすると、血中のコレステロール濃度が高くなり、動脈硬化の要因となる。

第2-3-9-2図 スタチンの作用機構



出典：日本薬学会「これから薬学をはじめるあなたに」

コンパクチンが特許化され、その構造が全世界に知れ渡るとともに、類似物質の探索が行われるようになった。三共(株)からデータやサンプルの提供を受けて知見を蓄積していた米国メルク社は、ロバスタチン^(注1)を発見し、三共(株)と激しい開発競争を進めることとなった。

スタチンの開発過程では、ラットの実験でコレステロール値が低下しなかったり、肝毒性の疑いが出たりとさまざまな紆余曲折があったが、大阪大学の山本章による治験や、金沢大学の馬渕宏、京都大学の北徹、千葉大学の斎藤康などによる臨床データの蓄積により安全性や効果が確認され、製品化に至ることとなった。特に、馬渕らによる1981年のコンパクチンに関する第二の臨床研究結果^(注2)は、コンパクチンは悪玉コレステロールLDL 値を下げるが、善玉コレステロールHDL 値には影響しないことを明らかにし、世界中の注目を集め、スタチンの製品化を推し進めた。

製品化は米国のメルク社が先行するが、企業規模が大きく異なり、創薬環境も整っていない当時の日本において、三共(株)は開発プロジェクトリーダーの中村和男(現シミック(株)代表取締役会長)を中心として、上述したような若手研究者のサポートを受け、スタチンの製品化を果たすことができた(商品化したのは、コンパクチンではなく、コンパクチンを投与した犬の尿から発見したプラバスタチン)。製品化は2番手となったが、スタチンという画期的な薬を人類に届けるという意味では、三共(株)および遠藤の果たした功績は非常に大きいと言える。

メルク社、三共(株)の後、世界の各社から高脂血症治療薬の発売が続くこととなる。スタチン開発の経緯及び、商品化について、第2-3-9-3表に示す。メルク社は、ロバスタチンの構造を少し変え、特許問題をクリアしたシンバスタチンを1991年に発売した。2001年には現在世界で最も売れて

(注1) ロバスタチンは、三共(株)から東京農工大学に移った遠藤が紅麹菌から発見し、日本国内ではメルクに先駆けて特許を取っていた。そのため、メルクの新薬は日本では発売することができず、結果的に外資から日本のマーケットを守ることとなった。

(注2) H. Mabuchi et al., "Effect of an inhibitor of 3-Hydroxy-3-methylglutaryl Coenzyme A Reductase on Serum Lipoproteins and Ubiquinone-10 Levels in Patients with Familial Hypercholesterolemia", N. Engl. J. Med. Vol.305, 478(1981)

いる薬であるアトルバスタチンがファイザー製薬から発売され、その後もスーパースタチンと呼ばれる強力なスタチンが数多く生まれている(ピタバスタチン、ロスバスタチンなど)

第2-3-9-3表 スタチン開発・商品化の経緯

経緯	
1973年	遠藤：青カビからコンパクチンを発見
1977年	三共(株)：ラットへのコンパクチンの投与で肝毒性の疑い
1980年	三共(株)：コンパクチンの開発中止を発表
1981年	金沢大学馬淵宏：スタチンの有効性に関する論文発表
1987年	メルク社：ロバスタチン(メビノリン)が米国で新薬承認
1989年	三共(株)：プラバスタチン(メバロチン)発売
1991年	メルク社：シンバスタチン(リポバス)発売
2001年	ファイザー社：アトルバスタチン(リピトール)発売
2003年	興和(株)：ピタバスタチン(リパロ)発売
2005年	塩野義製薬(株)：ロスバスタチン(クレストール)発売

注：かっこ内は商品名

出典：山内喜美子「世界で一番売れている薬」を基に(株)三菱総合研究所作成

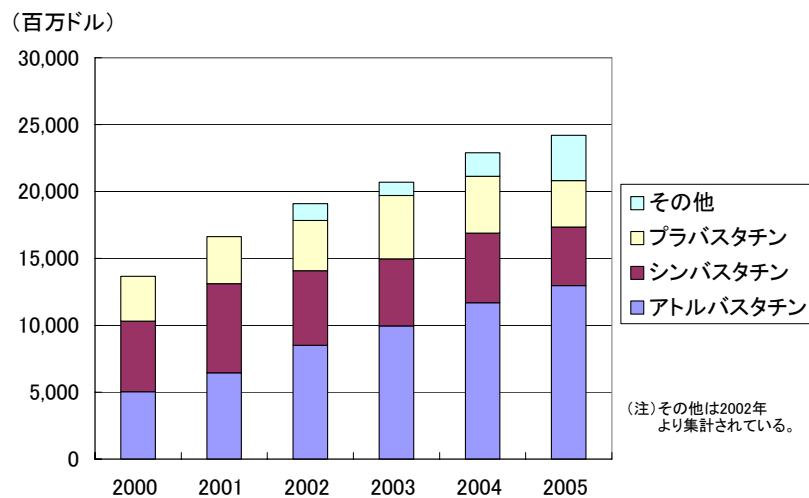
(3) 科学技術成果のインパクト

① 経済的インパクト

スタチンは、世界で一番売れている薬と言われ、全世界では340億ドル(2007年)^(注)、国内では2500～3000億円の市場となっている。全世界のスタチン市場の推移を第2-3-9-4図に示す。最も売れている薬はファイザー社のアトルバスタチンで、メルク社のシンバスタチン、三共(株)のプラバスタチンが続いている。

(注) 2008 ラスカー医学研究賞授賞式(2008年9月26日、ニューヨーク)「ラスカー臨床医学研究賞贈呈の辞」
ジョセフ・ゴールドスタイン授賞選考委員長

第2-3-9-4図 スタチンの市場規模推移



出典：ユート・ブレン LLC 合同会社プレスリリースを基に(株)三菱総合研究所作成

高脂血症治療薬は、スタチン以外にフィブレート系薬剤やコレステロール吸収抑制剤などがあり、近年それらの薬剤も売り上げを伸ばしている。全世界の主要な高脂血症治療薬の売上高を第2-3-9-5表に示す。

第2-3-9-5表 主な高脂血症治療薬の市場規模

	薬剤の一般名(商品名)	販売会社	売上高(2007年)
スタチン系	アトルバスタチン(リピートル)	米Pfizer社, アステラス製薬	126億7500万ドル +977億円
	ロスバスタチン(クレストール)	英Astra Zeneca社, 塩野義製薬	27億9600万ドル
	シンバスタチン(リポバス)	米Merck社	8億7600万ドル
	フルバスタチン(ローコール)	スイスNovartis社	6億6500万ドル
	プラバスタチン(メバロチン)	三共, 米Bristol-Myers Squibb社	4億4300万ドル +765億円
コレステロール 吸収抑制剤	エゼチミブ+シンバスタチン合剤	米Merck社, 米Schering Plough社	27億7900万ドル
	エゼチミブ(ゼチーア)	米Merck社, 米Schering Plough社	24億700万ドル
フィブレート系	フェノフィブレート(リピディル)	米Abbott Laboratories社	12億1800万ドル

出典：各販売会社ホームページを基に(株)三菱総合研究所にて作成

スタチンに関する特許は2000年以降次々と失効しており、ジェネリック医薬品への置き換えが進んでいる。プラバスタチンやシンバスタチンの特許権はすでに切れており、現在売り上げトップのアトルバスタチンの特許も2011年までには日米欧で失効する。ジェネリック医薬品への置き換えなどにより、単価は低下するが、その分予防的な使われ方や、他の疾病への用途が広がることにより、使用量は増加することが見込まれる。

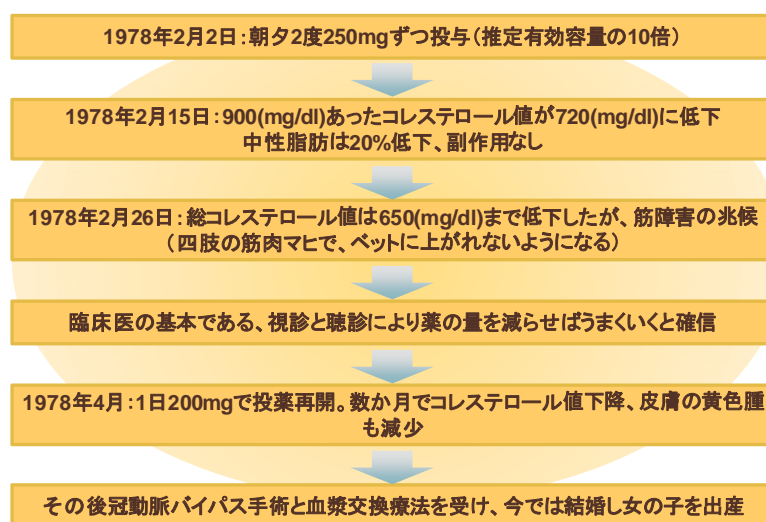
②社会的インパクト

大規模臨床試験によるデータ蓄積により、動脈硬化性疾患の治療に関するガイドラインが作成されたことは社会的に大きな意味を持つ。全国の病院で治療法(あるいは治療方針)のコンセンサスが得られることにより、日本の医療システム全体の底上げにつながっている。

③国民生活へのインパクト

生まれつき LDL-コレステロール値が非常に高い、ホモ FH 患者にとっては、奇跡の薬と呼ばれている。ホモ FH 患者は、30歳前後で心不全等を起こして、死亡してしまうケースが多いが、スタチンの投与により数多くの方が助かっている。世界で最初にスタチンを投与された患者の回復経緯を第2-3-9-6図に示す。薬剤の量を試行錯誤し、途中で筋障害が起きるなどのアクシデントもあったが、最終的にはほぼ完治に至っている。

第2-3-9-6図 世界初のスタチンを投与された FH ホモ接合体患者の回復経緯(16歳女性)



出典:山内喜美子「世界で一番売れている薬」を基に(株)三菱総合研究所作成

スタチンの他にも、陰イオン交換樹脂やフィブラート系薬、EPA(エイコサペンタエン酸:Eicosapentaenoic acid)などが、高脂血症治療薬として使用されているが、LDL-コレステロール値を低下させる能力では、スタチンが非常に高く、広く使われる原因となっている(第2-3-9-7表)。

第2-3-9-7表 主な高脂血症治療薬の機能特徴

分 類	LDL-C	TC	TG	TDL-C	主な一般名
スタチン	↓↓↓	↓↓	↓	↑	プラバスタチン、シンバスタチン、フルバスタチン、アトルバスタチン、ピタバスタチン、ロスバスタチン
陰イオン交換樹脂	↓↓	↓	—	↑	コレステラミン、コレステミド
フィブラート系薬	↓	↓	↓↓↓	↑↑	クロフィブラート、クリノフィブラート ベザフィブラート、フェノフィブラート
ニコチン酸誘導体	↓	↓	↓↓	↑	ニコチン酸トコフェロール、ニコモール、 ニセリトール
プロブコール	↓	↓	—	↓↓	プロブコール
EPA	—	—	↓	—	イコサベント酸エチル

↓↓↓ : ≤-25% ↓↓ : -20~25% ↓ : -10~20%
↑ : 10~20% ↑↑ : 20~30% ↑↑↑ : ≥30% — : -10~10%

注：LDL-C：LDL コレステロール、TC：総コレステロール、TG：中性脂肪、HDL-C：HDL コレステロール
出典：動脈硬化性疾患予防ガイドライン 2007年度版

スタチンの LDL-コレステロール低下効果やそれに基づく脳梗塞、心血管イベント(心筋梗塞、入院を必要とする不安定狭心症、血行再建術など)、死亡等の発生率低下効果については、国内外の数多くの大規模臨床試験により実証されている。国内外の臨床試験結果を第2-3-9-8表、第2-3-9-9表に示す。海外での臨床試験においては、概ね30%前後の LDL-コレステロール低下実績があり、心血管イベントの発生率にも有意な差がみられる。国内の臨床試験でも、LDL-コレステロールは20%前後低下している。

第2-3-9-8表 海外におけるスタチンを用いた大規模臨床試験

試験名	介入薬剤	投与量 (mg/日)	症例数 (治療/対照群)	平均年齢 (歳)	期間 (年)	TC(mg/dL)		LDL-C(mg/dL)		イベント抑制効果(相対危険度)(%低下率)				発表年
						治療前	治療後 (%低下率)	治療前	治療後 (%低下率)	主要心血管 イベント	脳卒中	心血管死亡	総死亡	
WOSCOPS	プラバスタチン	40	3,302/3,293	55	4.9	272	218(-20)	192	142(-26)	-32	NS	-32	-22	1995
AFCAPS/TexCAPS	Lovastatin	20-40	3,304/3,301	58	5.2	221	184(-17)	150	115(-25)	-37	NA	-32	NS	1998
ALLHAT-LLT	プラバスタチン	40	5,170/5,185	66	4.8	224	184(-17)	146	105(-28)	NS	NS	NS	NS	2002
ASCOT-LLA	アトルバスタチン	10	5,168/5,137	63	3.3	213	163(-24)	131	90(-31)	-36	-27	NS	NS	2003
CARDS	アトルバスタチン	10	1,428/1,410	61	3.9	207	159(-23)	118	82(-31)	-37	-48	NA	NS	2004
HPS	シンバスタチン	40	10,269/10,267	(40-80)	5	226	NA	130	89(-32)	-27	-25	-17	-13	2002
PROSPER	プラバスタチン	40	2,891/2,913	75	3.2	220	NA	147	98(-33)	-19	NS	NS	NS	2002
4S	シンバスタチン	20-40	2,221/2,223	59	5.4	261	196(-25)	188	123(-35)	-34	-30	-42	-30	1994
CARE	プラバスタチン	40	2,081/2,078	59	5	209	167(-20)	139	97(-32)	-24	-31	NS	NS	1996
LIPID	プラバスタチン	40	4,512/4,502	62	6.1	218	179(-18)	150	112(-25)	-24	-19	-34	-22	1998
メタ解析(GCLA)			45,054/45,002		4.7					-23	-17	-19	-12	2005

出典：動脈硬化性疾患予防ガイドライン 2007年度版

第2-3-9-9表 国内におけるスタチンを用いた大規模臨床試験

試験名	介入薬剤	投与量 (mg/日)	症例数 (治療/対照群)	平均年齢 (歳)	期間 (年)	TC(mg/dL)		LDL-C(mg/dL)		イベント抑制効果(相対危険度)(%低下率)				発表年
						治療前	治療後 (%低下率)	治療前	治療後 (%低下率)	主要心血管 イベント	脳卒中	心血管死亡	総死亡	
KLIS	プラバスタチン	10-20	2,219/1,634	58	5	254	215(-15)	169	132(-22)	NS	NS	NS	NS	2000
PATE	プラバスタチン	10-20	331/334	73	3.9	253	209(-16)	166	125(-25)	NS	NA	NA	NS	2001
MEGA	プラバスタチン	10-20	3,966/3,866	58	5.3	243	215(-12)	157	128(-18)	-33	NS	NS	NS	2005
JELIS	イコサペント酸 エチル	1,800	9,326/9,319	61	4.6	275		182		-19	NS	-24	NS	2005

出典：動脈硬化性疾患予防ガイドライン 2007年度版

第2-3-9-8表、第2-3-9-9表では、大規模臨床試験により、スタチンはコレステロール低下以外にも多面的な効果を持つことが疫学的に示されている。この他にも大規模臨床試験でスタチンを投与された患者群においては、アルツハイマー病、骨粗鬆症、一部のがん(前立腺がん等)、多発性硬化症等の予防効果が示唆されている。しかし、これらの効果を臨床的に明らかにするためには、1万人規模の大規模臨床試験が必要で、多額の費用を要する。

(4) 政府の果たした役割

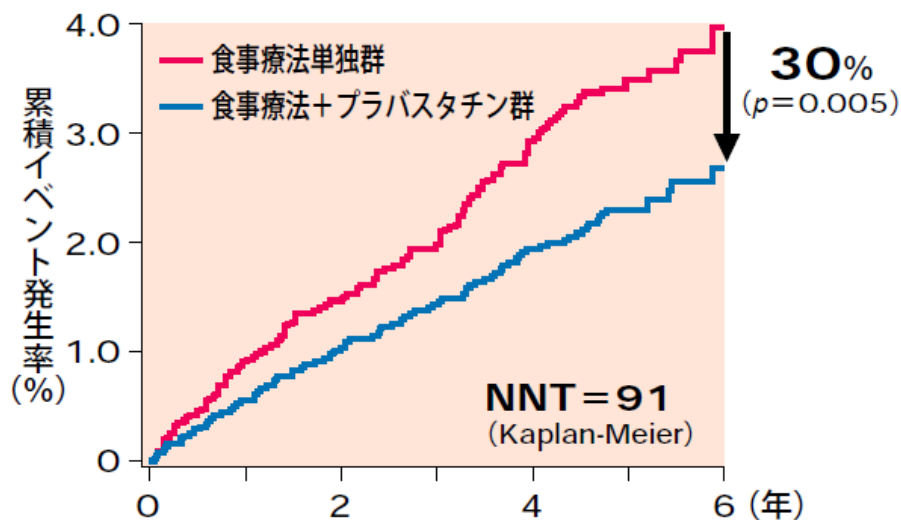
高脂血症治療薬の開発・普及において政府が果たした役割は以下の2点である。

- ② 遠藤のモノコリン発見には文部科学省の科学研究費補助金を一部利用
- ③ 安全・効果的な治療のために、大規模臨床試験で政府が臨床データを整備

上記の中で、特に重要な役割を果たしたのが、②の大規模臨床試験においてである。大規模な臨床試験は欧米製薬企業の豊富な資金力を背景に、欧米人を対象として行われることが多かったが、スタチンに関しては、厚生労働省の厚生労働科学技術研究費補助金を活用して、MEGA Study(Management of Elevated Cholesterol in the Primary Prevention Group of Adult Japanese)、が行われた。MEGA Study は日本初の多施設共同無作為化大規模臨床試験で、冠動脈疾患の既往がなく、総コレステロール値が220～270mg/dLに相当する軽度から中等度の日本の高脂血症患者7832名を対象に、無作為に食事療法単独群と食事療法+プラバスタチン併用群との比較を、平均期間5.3年で行った。

その結果、プラバスタチン併用で、冠動脈疾患と脳梗塞の発症が有意に抑制された、また長期投与の安全性についても癌をはじめとした有害事象と臨床検査値異常に両群間で差はないことが証明された(第2-3-9-10図、第2-3-9-11表)。MEGA Study は日本のみならずアジアで初めてのスタチン療法による大規模臨床試験であり、欧米からも高い評価を受けている。

第2-3-9-10図 MEGA Study の結果



出典: Nakamura H. et al.; Lancet 368:1155-1163, 2006

第2-3-9-11表 MEGA Study の結果

	例数 (%)	
	食事療法単独群 (n=3,966)	食事療法 +プラバスタチン併用群 (n=3,866)
重篤な有害事象*	395 (10.0)	404 (10.5)
横紋筋融解症	0	0
すべての癌**	116 [5.7]**	108 [5.5]**
ALT>100 IU	107 (2.8)	104 (2.8)
CK>500 IU	98 (2.6)	111 (3.1)

* 重篤な有害事象は、一般的な第I相試験の基準および医師の判断に基づく。

** 追跡開始後6か月以降に発生した癌のみを解析、6か月に満たない症例は解析から除外 (癌の食事療法単独群はn=3,851, 食事療法+プラバスタチン併用群はn=3,742), [] : /1,000人・年。

出典: Nakamura H. et al.; Lancet 368:1155-1163, 2006

データが足りないと本来投薬してはいけない患者に投薬してしまったり、投薬が必要な患者に投薬しなかったりという事態が生じうるが、MEGA Studyのような大規模な臨床試験で、日本人独自のデータが蓄積されることにより、理論的根拠に基づいた安全な投薬治療 (Evidence Based Medicine: EBM) が可能となったことは、政府が果たした大きな貢献であるといえる。

スタチンに関しては、高脂血症治療以外にもさまざまな応用が期待されている。その効果を明らかにするためには、臨床データを蓄積し、患者の健康状態に応じた投薬を行うことができる仕組みを整える必要がある。2002年から開始された厚生労働科学技術研究費補助金「J-Stars」では、脳

卒中に対するスタチンの予防効果に関する症例をデータベース化している

(5) 今後の展開

高脂血症治療薬に関しては、以下の2つ方法構成が今後必要となる。

- ① 高脂血症治療に関する新薬の開発
- ② スタチンの高脂血症治療以外の作用に関する臨床データ蓄積

高脂血症治療に関する新薬開発では、HDL-コレステロールを増加させることにより、総コレステロール値を下げるコレステロールエステル転送タンパク質 (CETP: cholesterol ester transfer protein) 阻害薬が効果が高く、承認が期待されている。しかし、もっとも開発が進んでいた米国ファイザー社のトルセトラピブは、1万5000人を対象とした ILLUMINATE 試験で、死亡者および心血管イベント発症数がプラセボ群と比較して、優位に高かったことが判明し、2006年に欧米はフェーズⅢ、日本はフェーズⅡの段階で開発中止となってしまった。CETP 阻害剤はその他メルク社や日本たばこ産業 (JT) が開発を進めているが、未だ承認には至っていない。その他では、ACAT (Acyl-Coenzyme A cholesterol acyltransferase) 阻害剤やスクワレン合成阻害剤なども長年注目されているが、承認には結びついていない。そのような状況にもかかわらず、既存の高脂血症治療薬は、特許が次々と切れており、新薬承認が待望されている。

(3)の「科学技術成果のインパクト」に示したように、スタチンには、アルツハイマー病、骨粗鬆症、一部のがん(前立腺がん等)、多発性硬化症の予防効果など多面的な効果が期待されている。しかし、これらの効果は疫学的に明らかになっているのみであるため、今後はこれらの効果を臨床的に明らかにする必要がある。しかし、そのためには1万人規模の大規模臨床試験が必要である。

(6) 参考文献

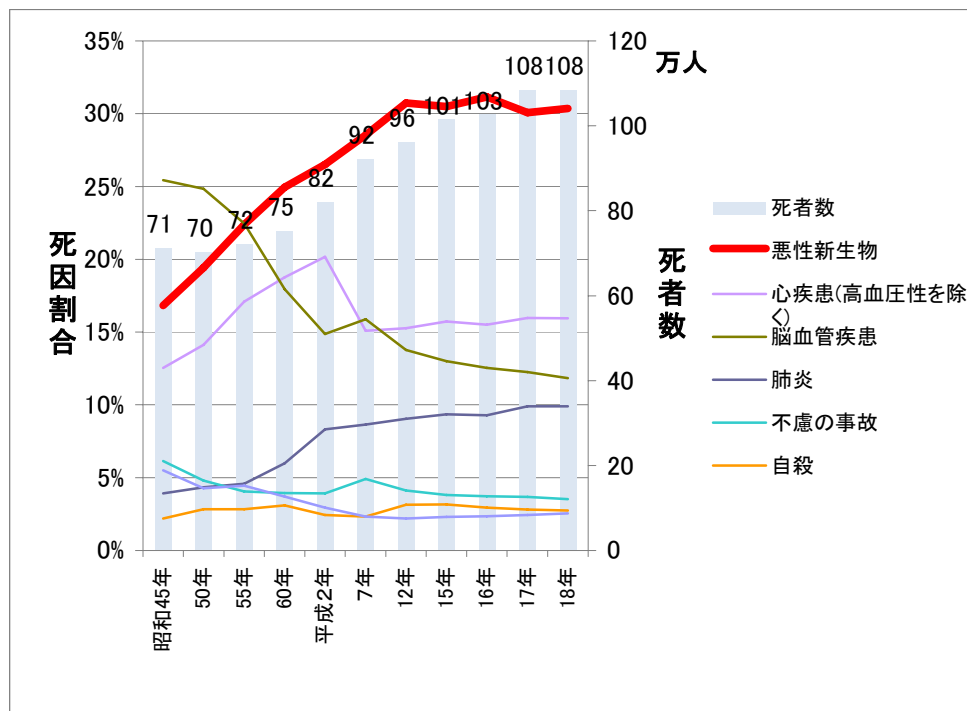
- ・ 日本動脈硬化学会 動脈硬化性疾患予防ガイドライン 2007年度版
- ・ 遠藤章 新薬スタチンの発見 コレステロールに挑む 岩波書店(2006年)
- ・ 山内喜美子 世界で一番売れている薬 小学館(2007年)
- ・ 日経 BP 社 「日経バイオ年鑑」2009
- ・ Management of Elevated Cholesterol in the Primary Prevention Group of Adult Japanese Study (MEGA Study) <http://www.mega-study.jp/mega-study.html>

10. 事例10 放射線によるがん治療技術(重粒子線治療)

(1) 事例の背景

戦後、生活水準の向上や医療の進歩により日本人の平均寿命は大きく伸びてきた。さまざまな疾病についての治療技術の向上が平均寿命の伸びに大きく貢献してきたが、生死にかかわるような疾病が全て克服されたわけではなく、未だに国民を苦しめ続けている。死因の年次推移を分類ごとに見ると、「がん(悪性新生物)」が占める比率が高まってきており、現在日本人の3人に1人はがんで死亡している。この変化の要因としては、生活様式の変化、それぞれの疾病への医療対策の進歩、そして長寿化自体が影響していると考えられる。(第2-3-10-1図)。

第2-3-10-1図 日本人の死因の年次推移



出典:厚生労働省 人口動態統計 年報

がんに対する治療法としては、がん組織を切除する外科的療法、抗がん剤によってがん細胞にダメージを与える化学療法、電磁波や粒子線がん組織に照射する放射線療法、人体の免疫機構によってがん細胞を攻撃する免疫療法などがある。

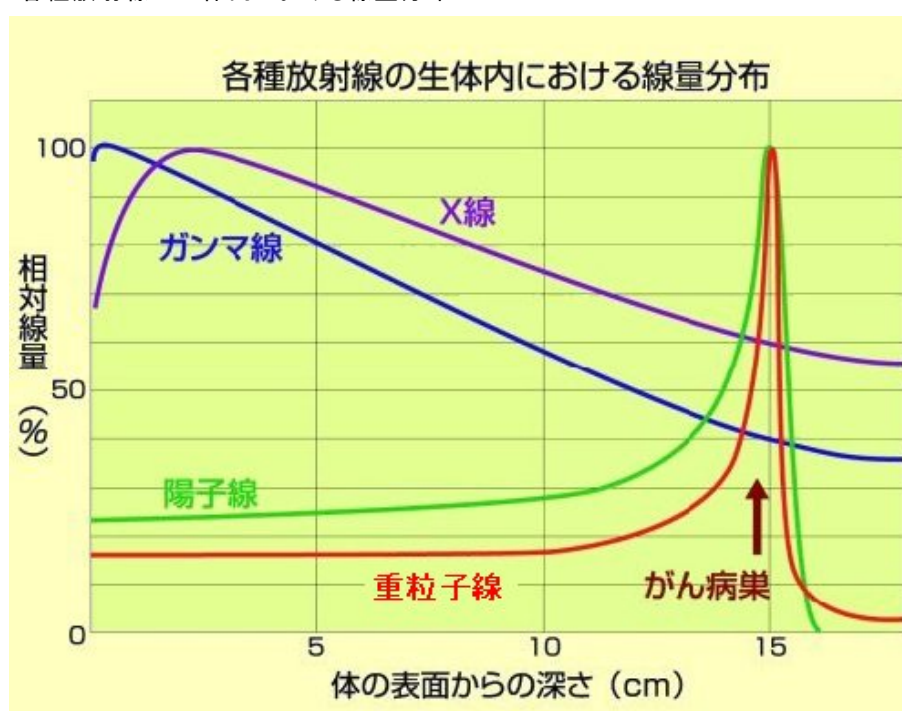
がん組織の切除を行う外科的療法以外の治療法においては、いかに正常細胞への影響を避けつつ、がん細胞に対して集中的にダメージを与えるか、という点が重視されてきた。その中で放射線(特に重粒子線)による治療は物理的に影響範囲を絞り込める特長があり、高い治療効果と低い副作用を達成できる治療技術として研究が行われてきた。

(2) 研究開発の経緯

放射線によるがん治療の歴史は古く、1895年のX線の発見の翌年には、X線によるがん治療の取組がなされている。一方、粒子線によるがん治療は、粒子に生体内で一定の飛程を持つための

エネルギーを与えるために高いエネルギーを持つ大型加速器が必要であったが、1946年にはアメリカのロバート・ウィルソンが粒子線によるがん治療の原理を発表しており、その中でも陽子線や α 線よりも重い炭素線のような原子核を十分に加速できるようになれば、より有効な治療法になるだろうと述べられている。第2-3-10-2図が示すように、X線やガンマ線が体表から浅い部分に対して大きな線量分布を示し、また体表から深い部分についても大きな線量がかかるのに対し、重粒子線は体表から特定の深さの部分に鋭い線量分布を示しており、これを正確に制御してがん病巣に対してフォーカスすることで、周辺の正常細胞への副作用を低く抑えることが出来る。また重粒子線の生物学的効果、すなわちがん細胞の殺傷能力は、X線などに比べ2～4倍程度あることが細胞実験等において証明されており、より高い治療効果が理論的に期待出来た。

第2-3-10-2図 各種放射線の生体内における線量分布



出典：(財)医用原子力技術研究振興財団「粒子線治療の原理」(http://www.juryushi.org/treatment/treat_04.html)

実際の粒子線を用いたがん治療は、加速器の性能向上に伴い1950年代から陽子線、中性子線による臨床研究が行われ初め、1975年にはアメリカのローレンスバークレー研究所で重イオン線（ネオンイオン）による臨床研究が1992年まで行われた。ただし、アメリカにおける先行研究では、基礎物理学用の研究施設の一部を転用して医学応用研究が行われたため、臨床試験に大きな制約が生じることとなり、結果として原理の実証には至らず研究は中止された。日本においては、重粒子線に先立ち放医研が1975年から速中性子線、1979年から陽子線による粒子線治療を開始したが、早期より医学専用の施設を整備した点が異なる。

日本では、特にがんが国民死亡率の一位となったことを踏まえ1984年に「第1次対がん10か年総合戦略」(後述)の中において科学技術庁のプロジェクトの目玉として、放医研において世界初の医用重粒子加速器「HIMAC(Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba)」が開発され、理論の実証を図ることになった。建設には10年近い歳月を要し1993年11月に HIMAC が完成し、翌1994年6

月からがん治療の臨床試験が行われている。

本研究遂行にあたって特筆すべきは、初期の段階から外部のさまざまな分野の医師、物理的専門家等を主体とした「重粒子線治療ネットワーク会議」というプロジェクト実行組織を設置した点にある。この委員会組織により、臨床試験に選択すべき症例や照射条件等を明文化した「プロトコル」を定めて、研究所はその指示に基づき臨床試験を行うとともに、臨床結果を会議に報告し、会議が結果を分析、評価することを通じて客観的な視点で研究成果を確立することが出来た。現在では当たり前となっているこれらの研究プロジェクト遂行に対する取り組みを早期に実現し、全く新しい治療法について患者さんへの説明責任を果たしつつ、患者さんの信頼を得るとともに、科学的なデータを蓄積可能とした。一方、大型の加速器を用いる重粒子線治療は、医師だけで開発を行うことは不可能であり、加速器物理学、放射線生物学の専門家のみでなく、照射装置開発の技術者、治療計画とハードウェアをつなぐ医学物理士などのさまざまな専門家が加わらなければ成功しない。これを全てのインフラが揃っている放医研というひとつの研究機関を選択して、研究費を集中的に投資した事も成功の鍵と言え、インフラが未完であったり、学部間の縦割りの強い大学ではこのような施設を含む治療システムを製作、運用することは難しかったのではないかと考える。

(3) 科学技術成果のインパクト

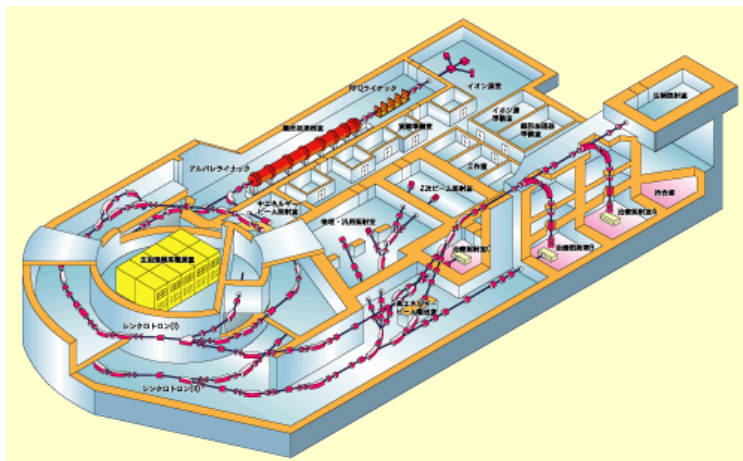
① 経済的インパクト

重粒子線によるがん治療は、理論・原理の実験機であったアメリカ ローレンスバークレー研究所の加速器を経て、HIMAC が原型機となり、その有効性を実証した段階であると言える。2009年3月現在において、世界で重粒子線によるがん治療を行っている施設は4カ所のみであるが、施設の仕様としては基本的には臨床研究のフェーズであり、経済的なインパクトが発揮されるのは今後となると考えられる。

その中では、放医研が積み重ねてきた治療実績により有効性・安全性が認められ、2003年10月から「先進医療(旧・高度先進医療)」の承認を受けたが、先進医療の技術料に該当する部分の患者の自己負担費用314万円が、近年、保険会社の先進医療の最高支払額を引き上げる契機となるなど、社会制度をも変えていく大きな予感がある。

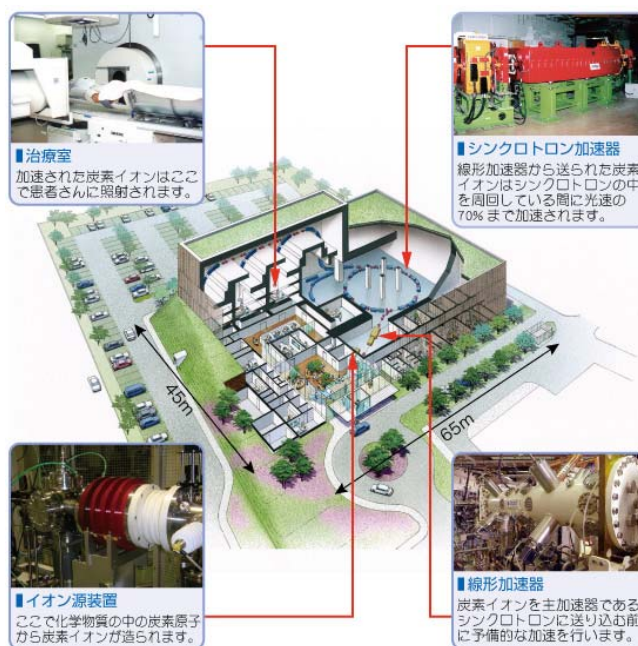
特に今後期待される経済的インパクトとしては、装置製造の産業化があげられる。加速器の建設は設備のサイズとしても、費用としても大きなものとなり、国家的なプロジェクトとして行われてきた。放医研のHIMACは、サイズが約120m×65mあり(第2-3-10-3図)、総費用は約326億円が投じられている。HIMACの技術的な成功を受け、重粒子線によるがん治療は実用化・普及化のフェーズに入ってきており、放医研では2001年以来、医用重粒子加速器装置の小型化にさまざまな研究機関及びメーカー企業と共に取り組んでいる。これらの技術開発と、がん治療用としての装置の最適化を行い、群馬大学重粒子線医学研究センターに普及小型実証機第1号として建設され、2009年に臨床試験を開始する予定である。この施設のサイズは約65m×45m(第2-3-10-4図)、HIMACに比べて約1/3にサイズダウンが実現され、建設費も装置・建屋を合わせ約125億円とコストダウンされている。これは民間レベルでも投資可能な額であり、普及を加速させる一方、一機建設される事による立地地域への経済効果は大きい。

第2-3-10-3図 HIMAC の重粒子線治療装置



出典：(独)放射線医学総合研究所「新しいがん治療時代の到来を告げる重粒子加速器HIMAC (Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba)」(http://www.nirs.go.jp/research/division/charged_particle/himac/himac_01.shtml)

第2-3-10-4図 群馬大学 重粒子線医学研究センターの重粒子線治療装置



出典：群馬大学 重粒子線医学研究センター「重粒子線照射施設」

(<http://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/jp/facilities02.html>)

放医研における重粒子線治療の結果を受け、世界各国においても、重粒子線によるがん治療施設の建設計画が進められている。また日本国内においても原型機 HIMAC と群馬大学の実証機建設を受けて、地方や民間による重粒子線施設の建設が検討され始めており、技術が民間への普及フェーズに入ること、それにともなう経済的な波及効果が今後大きくなるのではないかと考えられる。

②社会的インパクト

放医研が進めた重粒子線がん治療が、4,000例を超える治療実績により重粒子線がんに対して有効であることを証明した意義は大きい。現在世界全体の重粒子線がん治療患者の実に85%以上が放医研での治療患者である。また放医研が HIMAC で臨床試験の成果を広く国内外に公開することにより、学術的・臨床的貢献に果たしてきた役割は大きい。現在、日本以外の国においても重粒子線治療が推進されてきているが、治療に使う粒子の選定においても、放医研での成果にならう形で炭素線が選ばれている。治療技術については欧米からの“輸入”に頼ることが多かった我が国であるが、本治療法は日本発の技術として世界的な評価を得ている。

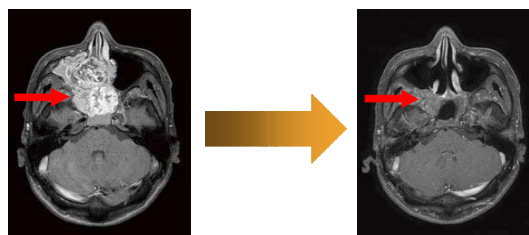
また、重粒子線治療の分野においては当然リーダー的な役割を果たしているが、HIMAC が示した優れたがん治療成績は、外科的療法を含む他の療法に対してもインパクトを与える結果となり、間接的にそれぞれの分野での技術進歩を促しており、がん治療全体の水準を引き上げる効果があったと言える。

③国民生活へのインパクト

重粒子線による治療が、がん患者にもたらす効果は大きく分けて2つある。1つは、がんに対する高い治療効果である。現在のところ国内における固形腫瘍治療の第1選択は外科治療であるが、重粒子線治療ではさまざまな難治がんにおいて外科手術と同等あるいはそれ以上の局所制御率を達成している(仙骨骨肉腫、直腸がん術後再発など)。放射線治療は局所療法であるので、抗癌剤のような全身への影響は回避出来るものの、従来の X 線治療などでは、どうしてもがん細胞の周辺にある正常細胞に対して影響がおよぶことが避けられなかった。しかし、重粒子線治療では生体内での線量の集中性が良いため、ダメージを与える範囲をがん細胞に限定することが可能である。その結果、がん細胞だけに対してより強力なダメージを与えることと、正常細胞への副作用の抑制とを両立させることが出来るようになった。また、従来の放射線治療では副作用を避けるために分割照射(一度に照射する放射線量を少なくし、その代わり照射回数を増やす方法)を行っていたが、重粒子線治療では副作用の影響が小さくなったことで照射回数の低減を図ることも出来、従来の放射線治療に比べ治療期間を大幅に短縮することを可能にした。現在、一部の肺がんでは1回の照射で治療を完了させるプロトコルが行われている。

一方、重粒子線治療はこれまで治療がほとんど不可能であったタイプのがんに対して、有効であることがいくつかのがんにおいて確認された。第2-3-10-5図は、外科的治療が極めて困難な頭頸部の腺様嚢胞がんの治療症例で、4週間16回の重粒子線照射治療後、腫瘍がほぼ消失している。

第2-3-10-5図 頭頸部 腺様嚢胞がん



出典：溝江純悦「重粒子線による治療症例」放射線科学 第50巻 第7号 27頁(2007年7月15日)

もう1つの効果は、がん治療全体における患者の QOL(Quality Of Life、生活の質)を高く保つことである。がん患者はそもそも高齢者に多く、高齢者は体力などの問題から外科手術が行えない場合が少なくないが、重粒子線治療ではこのような高齢者にも十分に適応可能である。また手術を行う外科的療法と比べて、切開等を行わないので、苦痛といった直接的な面でも優れているほか、リハビリなどの期間が不要であり、通常の生活に復帰するまでの期間も短縮することが出来る。また、外科的治療を実施した場合、容貌の著しい変化が避けられないような症例においてもコスメティックにみて有利であるなど、がんの治療から術後までの全てのフェーズにおいて高い QOL 実現を達成している。

第2-3-10-6図は、従来の放射線療法は効きにくい骨肉腫の治療症例で、外科的治療では大きな身体的障害が残る可能性があった。しかし、16回の重粒子線照射治療を行ったところ、腫瘍は消失し、骨破壊部位は石灰化で置き換わり、この患者は現在普通の生活が可能な状態となっており、非常に QOL を高く保つがん治療が実現された。

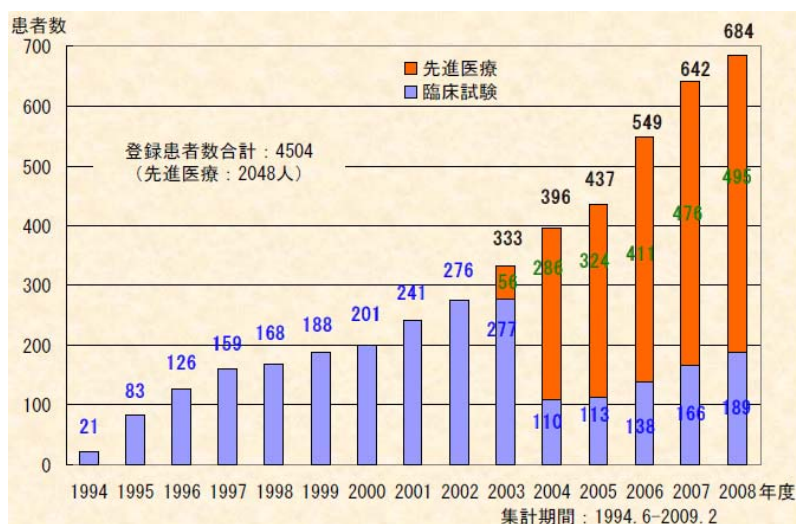
第2-3-10-6図 重粒子線による仙骨肉腫の治療



出典：：溝江純悦「重粒子線による治療症例」放射線科学 第50巻 第7号 27頁(2007年7月15日)

重粒子線がん治療を受ける患者数は、1994年以来年々増えてきており、2008年には4000人を越え、2003年承認の先進医療として治療された患者数も2000人に達している(第2-3-10-7図)。

第2-3-10-7図 放医研でのがん登録患者数



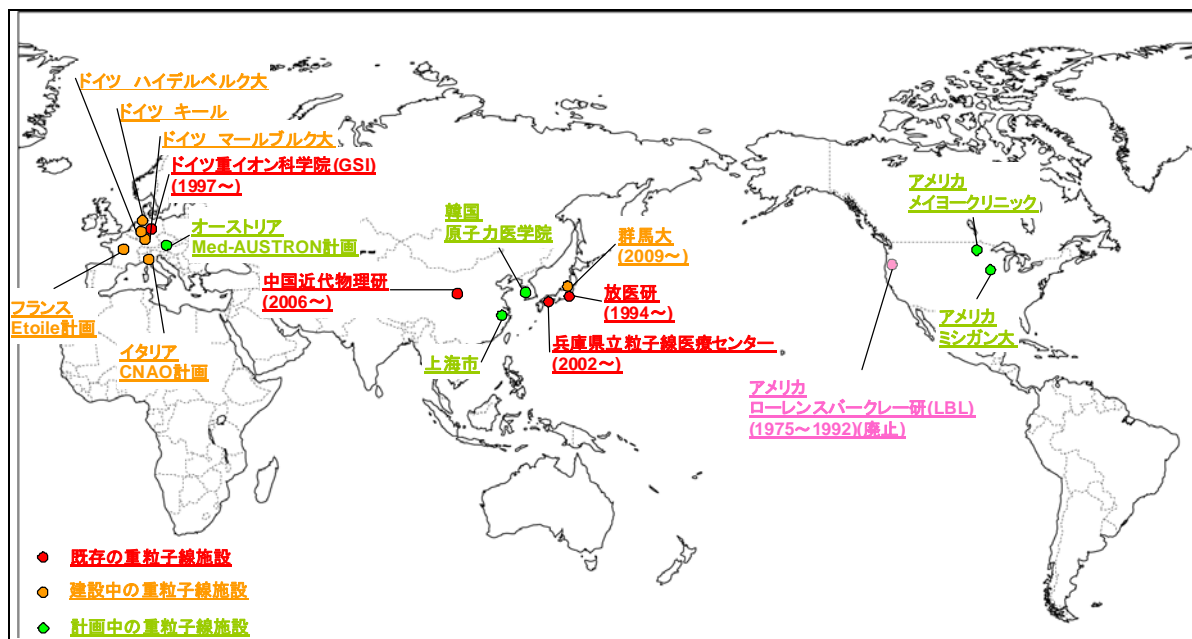
出典：(独)放射線医学総合研究所「放医研における重粒子線治療の登録患者数(1994年6月～2009年2月)」
(http://www.nirs.go.jp/news/press/2008/07_18.shtml)

(4) 政府の果たした役割

本事例は、1984年にスタートした国の「対がん十か年総合戦略」における科学技術庁のプロジェクトとして科学技術庁所管の国立研究所を研究推進機関とし、300億円を超える巨額の施設開発費用を国によって賄っている。先行するアメリカを凌駕しうる施策という点において、政府の果たした役割は非常に大きいと言える。また、施設の建設だけではなく、「第二次対がん十か年総合戦略」における臨床試験の実施費用も国により負担されている。がん治療の臨床試験では、例えば3年の局所制御率や5年生存率などがひとつの指標とされる。これらが臨床データとして得られるには相当な年月が必要であるが、このような長期にわたる研究プロジェクトを、単年度的な視野に捕らわれることなく、政府が継続的に予算措置したことは先見の明に値する。

さらに、研究成果が確立した後、「第三次対がん十か年総合戦略」において、重粒子線治療の普及のために、2004～2005年には装置の小型化を目的とした技術開発プロジェクトを実施した。その成果を用いて、同じく国の予算措置により、群馬大学医学部に病院設置用の小型施設の実証機の製作が進められていることも、研究にとどまらず実用としての出口を見据えた研究プロジェクトとして高く評価される。

第2-3-10-8図 世界の重粒子線（炭素線）治療施設計画



出典：(独)放射線医学総合研究所「粒子線治療の研究・開発が世界各地ですすめられています」(http://www.nirs.go.jp/research/division/charged_particle/himac/himac_09.shtml)を基に(株)三菱総合研究所作成

(5) 今後の展開

HIMAC による良好ながん治療成績を受けて、世界各国でも重粒子線への取り組みが進行している(第2-3-10-8図)。また、国家プロジェクト級の予算を必要としていた建設費についても、小型普及に向けた技術開発のフェーズが進み、民間レベルでの治療施設の設置・運用まであと一步というところまで来ており、近い将来により一般的ながん治療法の一つとなると考えられる。しかしながら、

ドイツなどの後発国の研究も盛んに行われており、世界をリードする最先端の治療技術として今後の研究開発も必要である。現在治療成績の向上を目指し、呼吸同期が可能な3次元スキニング照射や回転ガントリなど、物理工学的なアプローチによる研究開発や、抗癌剤や遺伝子治療との併用療法などが放医研を中心として計画されている。また、早期がんの発見はさらなる治療成績向上に直結する事から、分子イメージングなどの診断研究も重要である。

多くのがん患者が治療を受けられる体制になっていくためには、現在は先進医療に指定されている重粒子線治療が健康保険の適用対象となって、患者個人の負担の低減が図られることが重要と考えられる。また普及のためには、現在よりも多くの治療施設が作られることが必要だが、重粒子線によるがん治療は機械設備だけがあれば実現できるものではなく、より効果の高い治療プロトコルの開発やそれらの運用・整備にあたる人材の育成についても、今後の充実が強く期待されている。

(6)参考文献

- ・ 厚生労働省 人口動態統計 年報
- ・ (財)医用原子力技術研究振興財団 粒子線治療の原理
http://www.juryushi.org/treatment/treat_04.html
- ・ (独)放射線医学総合研究所 新しいがん治療時代の到来を告げる重粒子加速器 HIMAC (Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba)
http://www.nirs.go.jp/research/division/charged_particle/himac/himac_01.shtml
- ・ 群馬大学重粒子線医学研究センター <http://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/>
- ・ 群馬大学重粒子線医学研究センター 重粒子線照射施設
<http://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/jp/facilities02.html>
- ・ 辻井博彦他 放射線科学 特集ここまで来た重粒子線治療 第50巻第7号 pp5-69 (2007年)
- ・ 溝江純悦 重粒子線による治療症例 放射線科学 特集ここまで来た重粒子線治療 第50巻第7号 pp27 (2007年)
- ・ (独)放射線医学総合研究所 放医研における重粒子線治療の登録患者数(1994年6月～2009年2月) <http://www.nirs.go.jp/hospital/result/pdf/01.pdf>
- ・ (独)放射線医学総合研究所 粒子線治療の研究・開発が世界各地ですすすめられています
http://www.nirs.go.jp/research/division/charged_particle/himac/himac_09.shtml
- ・ (独)放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター病院
<http://www.nirs.go.jp/hospital/index.shtml>
- ・ 梅垣洋一郎他 文部科学時報 特集 重粒子線がん治療10年目を迎えて No.1541 pp9-49 (2004年)
- ・ (財)医用原子力技術研究振興財団 <http://www.juryushi.org/>

11. 事例 1 1 新興・再興感染症の制御技術(検知・予防・診断・治療)

人類と感染症の関わりは古く、かつ長い。1980年の世界保健機関(WHO)による天然痘撲滅宣言は、人類と感染症との戦いにおいての金字塔として知られているが、その後も感染症は国際的な公衆衛生の脅威となっている。WHOによると、2004年では世界中の総死亡者数のうち、感染症によるものは約1/4を占めており、これは疾患別にみると循環器疾患に次いで多いことが報告されている^(注1)。そのうち、特に死亡者数が多い疾患として、呼吸器感染症(肺炎など)(死亡原因第3位)、感染性下痢症(コレラ、大腸菌感染症など)(下痢性疾患全体として第5位)といった古くから継続的に人類を悩ませているものに加えて、新興感染症としてのHIV感染症(ヒト免疫不全ウイルス)/AIDS(後天性免疫不全症候群)(死亡原因第6位)、また再興感染症としての結核(第7位)やマラリア(第14位)が挙げられている。これら3つの新興・再興感染症に対し、WHOは今後の疾病発生動向予測や対策上、重要な疾患とみなし、世界緊急事態宣言を発している(HIV感染症/AIDSは1989年、結核は1993年、マラリアは1998年)。

新興感染症とは、「最近20年間に増加してきたか、近い将来に増加するであろう感染症、若しくは新たに認識される感染症」と定義づけられている^(注2)。具体的疾患として、上記HIV感染症/AIDSのほかに、SARS(重症急性呼吸器症候群)、高病原性鳥インフルエンザ、C型肝炎、HTLV-1(ヒトリンパ好性ウイルス)感染症、エボラ出血熱など、これまでに30以上の感染症が挙げられている。また、新型インフルエンザ(人から人へと効率よく感染できるように変異した、鳥インフルエンザウイルス等の感染による疾患)については、近年、その世界的大流行が危惧されており、今後特に注意すべき新興感染症としてとらえられている。

一方、再興感染症とは「かつて大きな脅威であった感染症で、いったんは殆ど制圧されたかにみえたが、再び大問題を提起しつつある感染症」と定義づけられ^(注2)、具体的疾患としては上記疾患の他、デング熱、狂犬病、ペスト、コレラなどが挙げられている。

新興感染症の多くは有効な治療法が確立されておらず、中には検知・診断法でさえ十分に開発されていないものもある。また、HIV感染症/AIDSのように治療法がある場合でも、その根治には至っていないものもある。したがって、それら疾患の予防・検知・診断・治療法の開発は急務である。一方、再興感染症については、マラリアのように治療法が開発されていても、全世界的には普及が不十分な場合や、また結核のように治療薬に対する耐性菌の出現が問題になっていることがあり、新たな治療法や予防法開発の取り組みが必要とされているのが現状である。

上記の状況に鑑み、本報告では新興・再興感染症の制御技術についての調査分析を行った。調査対象としては、新興・再興感染症のうち、以下の視点から、HTLV-1感染症、C型肝炎、HIV感染症/AIDS、SARS(Severe Acute Respiratory Syndrome:重症急性呼吸器症候群)、新型インフルエンザ(以上、新興感染症)、及び結核(再興感染症)の6つを選択した。

- 世界的な感染者の多さ、日本の感染率の高さ等により、医療需要が高いこと
- 感染症研究の成果が、日本あるいは諸外国の社会・経済・産業に大きなインパクトを与えていること

(注1) WHO ‘The Global Burden of Diseases: 2004 update’

(注2) 総合科学技術会議 重点分野推進戦力専門調査会第11回会合 資料11-6-1 新興・再興感染症対策に必要な科学技術

- 感染症対策に関する制度面の対応、公的な支援等の点で日本が顕著に貢献していること

以下、事例対象とした感染症ごとに示す。

11-1 HTLV-1(ヒト T リンパ好性ウイルス)感染症、ATL(成人 T 細胞白血病)

(1)事例の背景

HTLV-1はヒトに感染するレトロウイルスの一種である。HTLV-1感染者の一部がATL(成人T細胞性白血病)、HAM/TSP(HTLV-1関連脊髄症)、HU(HTLV-1ぶどう膜炎)などの疾患を発症する。ATL の生涯発症率は感染者全体の2.5～5 %程度と言われており、HAM/TSP やHU の発症率はさらに少なく、ATLの数分の一程度であると考えられている^(注)。なお、HTLV-1に感染するとウイルスDNAがヒト染色体に組み込まれるため、一生感染したままとなる。HTLV-1に感染しているかどうかは、血液検査(抗体検査)により判定が可能である。

ATL は HTLV-1が感染した T リンパ球による白血病・リンパ腫であり、現在有効な治療法は見出されていない。ATL は全世界で数千万人の感染者がいるが、先進国ではほぼ日本のみでみられる疾患であり、特に九州・沖縄地域での発症率が高い。HAM/TSP では両下肢の筋肉の麻痺が症状の中心となる。HU では眼内の炎症により視力が低下する。

(2)研究開発の経緯

① ATL の研究開発経緯

● 1970～1980年代:ATL の疾患概念の解明

1976年に京都大学医学部(当時)の高月清は、通常の急性白血病とは異なる症状を有する疾患として、ATL の疾患概念を提示し、1977年に英国の医学雑誌 Blood に論文発表を行った。

1980年には米国の Robert Gallo が新型のレトロウイルス HTLV-1を発見した。これにやや遅れ京都大学ウイルス研究所(当時)の日沼頼夫が同じウイルスを発見した。これにより、ATL の原因が HTLV-1であることが明らかになった。

1980年代は日米の研究者により激しい研究競争がくり広げられ、研究は進展した。

1982年には財団法人癌研究会癌研究所の吉田光昭らのグループがプロウイルス(HTLV-1などのウイルスが染色体 DNA に組み込まれた状態にあること)の全塩基配列を決定した。

● 1980年代:HTLV-1のスクリーニングの導入

1982年には日赤血液センターの血清をサンプルとして、HTLV-1に対する抗体の有無を蛍光抗体法でスクリーニングした結果が報告され、1984年頃にはこの方法を全国で実施し、地域別の HTLV-1感染率が推定された。このデータを用いて1990年に日本の感染者数は120万人という推測データが示された。日本は診断、スクリーニングの分野では世界をリードしていたといえる。

● 1990年代～2000年代:研究の一時的な停滞と再注目

- ・ 1990年代には、研究費の減少とともに、全国規模での調査や研究は停滞した。

2000年以降には、以下の理由から再び ATL が注目されることになる。

- ・ 患者数は1,000～1,100人と少ないが、着実に増加していること
- ・ キャリアは僅かに減少しているが地域的に拡散していることから、全国的調査の必要性が高まったこと

(注) 総合科学技術会議 重点分野推進戦力専門調査会第 11 回会合 資料 11-6-1 新興・再興感染症対策に必要な科学技術

- ・ ATL の研究ががん全般の研究につながるという認識が高まったこと

具体的には、以下のような研究が開始され、それらの研究により、最新のデータに基づくキャリア数の推定、九州・沖縄地域から全国へ感染が拡散する傾向等が明らかになりつつある。

- ・ キャリア集団の中から疾患を発症しやすい集団を同定し、発症予防的介入を目指すコホート研究(特定のキャリア集団を長期間調査する研究要)の開始
- ・ 経時的に集積された検体よりなるバイオマテリアルバンクの形成とその活用

② HAM/TSP の研究開発経緯

1986年、鹿児島大学の納光弘らは鹿児島に多く見られる独特な SSP(原発性側索硬化症、脊髄性けい性対麻痺)が HTLV-1 への感染をきっかけとして起こることを見出し、この疾患を新たに HAM (HTLV-1 関連脊髄症)と名づけた。

1988年には、熱帯で報告されていた TSP(熱帯痙性対麻痺)と HAM は同一の疾患であると考えられるようになった。

(3) 科学技術成果のインパクト

ATL 疾患概念の提示、ウイルスの遺伝子塩基配列決定、スクリーニング法開発と利用、感染ルート解明、疾患発症率の予測等、日本の研究が果たした役割は大きい。

ATL は発病すると治療はなく、従って感染を食い止めるのが得策である。この意味で、日本においてキャリアの血清によるスクリーニング、診断法が開発され、それが早期に利用された意義は大きい。

治療法については多剤併用療法、幹細胞移植等の方法が試みられているが、大きな成果をあげるまでには至っていない。これは患者の高齢者比率が高いことによる。低分子、抗体による薬物開発も進められているが、本格的な臨床開発は今後になる。

(4) 政府の果たした役割

1978年には厚生労働省がん研究助成金の支援がなされ、これは1981年のウイルス発見に役立った。それを受けて文部科学省では1981年度に「ATL の成因」と題する将来検討計画班、1982年度には計画研究班が設置された。その後、がん特別研究の分野でも個別研究が加わり、1980年代後半まで研究費が増加した。これらにより、ATL については1980年代に短期間で疫学、病理、病因研究へと発展した。

1990年代には公的支援による研究費が減少したこともあり、ATL 研究は遅滞した。この間20年間にわたって、米国 NIH のグラントにより、宮崎大学とハーバード大学の共同研究が進められ、ATL 発症リスク因子等が報告されたことは注目される。

2000年以降は、以下に示すように、公的研究が再び増加している。

- ・ 文部科学省科学研究費助成金特定研究(C)「HTLV-I 感染と関連疾患のコホート研究」
- ・ 文部科学省科学研究費補助金がん研究に係る特定領域研究「ATL 発症高危険群の同定発症予防を目指して」

「ATL 発症高危険群の同定発症予防を目指して」において組織された JSPFAD (HTLV-1 感染

者コホート共同研究班)は、HTLV-1感染者(HTLV-1キャリア)から定期的に(1年に1回程度)血液を採取し、診断や将来的な治療や発症予防につなげていこうとする研究として注目される。2008年3月現在で、JSPFADには全国44施設が協力組織として参加し、登録キャリアの数は約1,300人となっている。1990年以降下火になった多施設共同研究が再び盛んになりつつあるといえる。

2008年には厚生労働科学研究費の研究班「本邦における HTLV-1感染および関連疾患の実態調査と総合対策」がスタートした。この研究班では、抗体検査法の変遷に伴うデータの相互比較検討、母児感染以外の感染ルートの意義等が検討される予定である。

(5)今後の展開

2000年以降になって、研究費が増加するとともに、多施設共同の前向きな研究が開始され、疾患感受性の遺伝的背景解析、感染状態の客観的評価システム構築等が可能になりつつある。このことで、HTLV-1キャリアの中で疾患を発症する個体側の要因、発症を誘導する環境要因等が明らかになり、ATLの早期診断、予防、治療法開発が進むと考えられる。

このような研究は単に ATL のみならず、がん全般の早期診断、予防、治療法開発に利用できる可能性があるという点で注目される。

ATLに関するこのような情報を収集し、研究開発を行える国は先進国では日本だけであり、世界的な HTLV-1感染症対策への貢献にも期待が持たれる。

(6)参考文献

- ・ 渡邊俊樹 HTLV-I 感染者における ATL 発症に関する疫学研究—これまでの研究成果と今後の課題 東京大学・メディカルゲノム 56(5):527-534(2008)
- ・ 下山正徳 臨床研究 私の思い出(36) 1.日本人の T 細胞腫瘍と B 細胞腫瘍(36) 血液フロンティア 15(8):1366-1381(2005)
- ・ 文部科学省がん特定領域研究「がん診断と疫学」HTLV-1感染者コホート共同研究班(JSPFAD) <http://www.htlv1.org/>
- ・ 厚生労働省がん克服戦略研究事業 <http://www.mhlw.go.jp/shingi/2003/05/s0509-6c5.html>
- ・ 日経 BP 社 日経バイオ年鑑 2009
- ・ 鹿児島大学医学部第三内科学講座 WHO Collaborating Center for Human Retroviral Infections Associated with Neurological Disorders http://www.kufm.kagoshima-u.ac.jp/~intmed3/who_cc/index2.html

11-2 HIV 感染症/AIDS

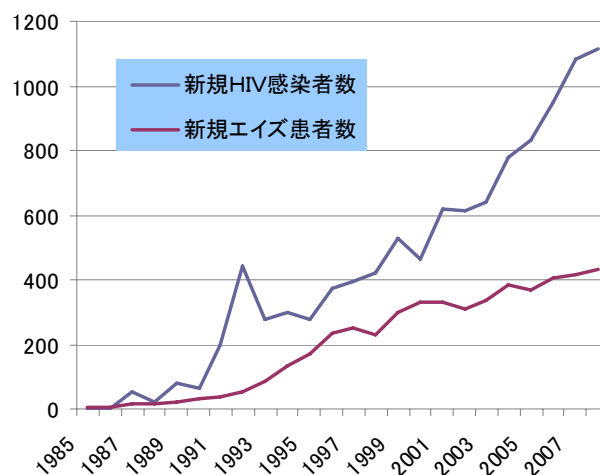
(1) 事例の背景

エイズ(AIDS)とは、ヒト免疫不全ウイルス(HIV)に感染して起こる病気であり、免疫系が破壊されて、身体の抵抗力が低下し、さまざまな感染症や悪性腫瘍にかかる疾患である。HIV に感染してもすぐに症状が現れるわけではなく、人によって発症までに6ヶ月から15年以上の歳月がかかる。実際、感染して1～2週間程度で全身倦怠、発熱など軽い風邪に近い症状に加え、突然の発疹が現れるが、症状が出ず気づかない人もいる。多くの人は急性感染期を過ぎて症状が軽快し、だいたい5～10年は無症状で過ごす、その後多様な免疫力低下症状を呈するようになる。

1981年アメリカ疾病管理・予防センターによってエイズが報告されてから26年間で、世界の HIV 感染患者は3,300万人、新たな感染者は270万人となった(2008 Report on the Global AIDS epidemic(UNAIDS))。現在までのエイズによる死亡者は200万人程度に及んでいる。国内では、2008年にHIV(ヒト免疫不全ウイルス)感染者とエイズ患者の発生総数は1,545名に達し過去最高となった(厚生労働省エイズ動向委員会による)。

エイズ患者の発生総数が増加する一方で、この間、世界の研究者は競って多くの抗 HIV 薬を開発してきた。熾烈な国際競争の中、熊本大の満屋 裕明らをはじめとする研究グループは、世界初の抗 AIDS 薬 AZT を初めとして、これまでに HIV に対する4薬剤を発見した。開発された多くの薬剤の併用により、根治には至らないものの、耐性ウイルスが出現するしてもエイズは「死に至る病」から、発症進行のコントロールが可能な疾患へと劇的に変化し、エイズによる死亡者は激減している。異なる種類の作用機序をもつ多くの医薬品の併用が、エイズ患者を激減させたといえる。

第2-3-11-1図 世界の新規 HIV 感染者数と新規エイズ患者数の推移



出典: 厚生労働省エイズ動向委員会報告

(2) 研究開発の経緯

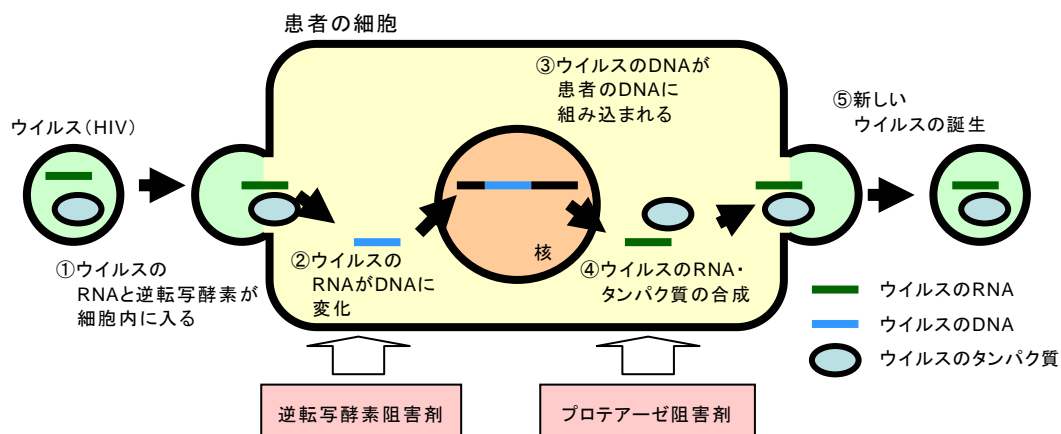
① 抗 HIV 薬の開発と日本人、日本企業の関与

これまでの研究によりエイズウイルスの増殖のメカニズムが明らかにされ、それを基に抗 HIV 薬が開発されている。

以下が主な抗 HIV 薬である。また、エイズウイルスの増殖メカニズム。第2-3-11-2図に示す。

- ・ 逆転写酵素阻害剤:ウイルスの RNA を DNA に変える逆転写酵素を阻害する(核酸系逆転写酵素阻害剤と非核酸系逆転写酵素阻害剤がある)
- ・ プロテアーゼ阻害剤:ウイルスのタンパク質を作る過程を阻害

第2-3-11-2図 ヒト免疫不全ウイルス(HIV)の増殖メカニズム



出典:(株)三菱総合研究所作成

現在では多くの抗 HIV 薬が開発されているが、それらの中には日本人と日本企業が開発しているものが多い。

熊本大学医学部・満屋裕明らは、米国 NIH(National Institutes of Health)および NCI(National Cancer Institute)において、世界で最初に承認されたエイズ治療薬 AZT 開発に係わり、以後上市された4つの医薬品の開発に携わった。満屋が開発に携わった抗 HIV 薬を第2-3-11-3表に示す。

第2-3-11-3表 熊本大学医学部・満屋が開発に関わった抗 HIV 薬

薬剤名	薬剤のタイプ	承認状況
ジドブジン (AZT)	核酸系逆転写酵素阻害剤	1987.09:国内承認
ジダノシン (ddl)	核酸系逆転写酵素阻害剤	1992/06:国内承認
ザルシタビン (ddC)	核酸系逆転写酵素阻害剤	1996.04:国内承認
ダルナビル	プロテアーゼ阻害剤	2007.11:国内承認 2006.08:米国承認
アブラビロック (ONO-4128)	CCR5受容体拮抗剤	小野薬品、GSKに導出 P-3患者登録中止

出典:(株)三菱総合研究所作成

また、第2-3-11-4表に示すように、日本たばこ産業をはじめ多くの日本企業が多くの抗 HIV 薬開発に係わっている。エイズ治療には後述するように多剤併用療法が必要であり、多くの医薬品開発はこの選択肢を増やす役割を果たしている。

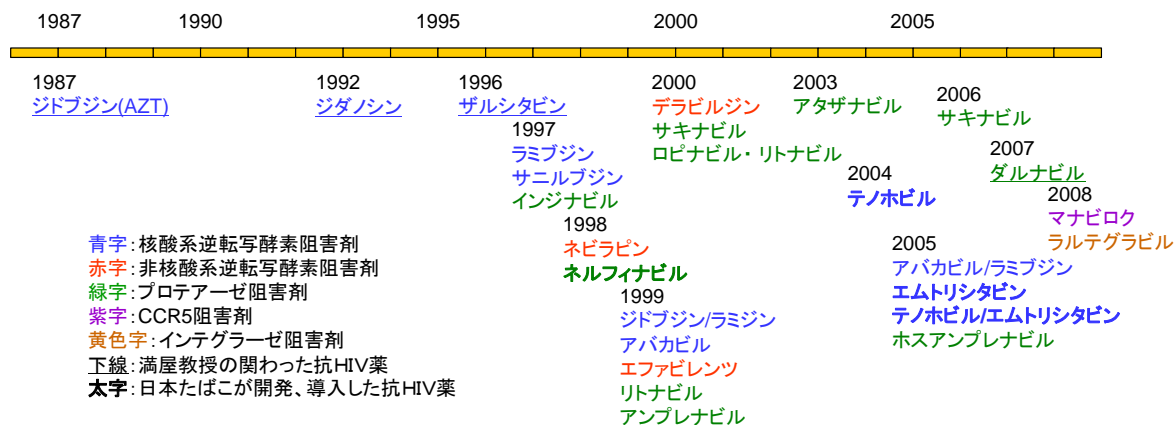
第2-3-11-4表 日本企業オリジナルの抗 HIV 薬開発

企業名	製品名・治験記号	一般名	作用	導出	開発状況
日本たばこ産業	ピラセプト	ネルフィナビル	プロテアーゼ阻害	アグロン社	1998.3: 国内販売 (国内4番目) 1997.3: 米国承認
日本たばこ産業	JTK-303	Elvitegravir	インテグラーゼ阻害	ギリアド社 (2005)	国内: P-1 米: P-3
日本たばこ産業	JTK-656		インテグラーゼ阻害		海外: P-1
化学及血清療法研究所	KD-247		抗HIV抗体		米: P-1
オンコリスバイオファーマ	OBP-601	フェスティナビル	逆転写酵素阻害		
エフェクター細胞研究所			HIV遺伝子発現抑制	2008.5: 米国立加齢研究所と共同研究契約	米仏: P-1
シオノギ・グラクソ・スミスクライン ファーマ シューティカルズ LLC (2001設立)	S-1360		インテグラーゼ阻害/ 蛋白複成阻害		2006.5: 米でP-1開始 その後報告なし
田辺三菱製薬	MKC-442	エミビリン	逆転写酵素阻害	トライアングル社	海外: P-3で開発中止
塩野義製薬		copravirine	非ヌクレオシド型 逆転写酵素阻害	アグロン社	2005.7: アグロン/ファイザー社 撤退
小野薬品	ONO-4128		CCR受容体拮抗作用	GSK社 (2002)	2002.12: GSKに導出 2005.10: P-3の患者登録中止

出典: (株)三菱総合研究所作成

また、上記を含めた抗 HIV 薬の国内承認状況を第2-3-11-5図に示す。

第2-3-11-5図 抗 HIV 薬の国内承認状況



出典: (株)三菱総合研究所作成

② HAART(多剤併用)療法と新規薬剤開発

単一種の薬剤によるエイズ治療では薬剤耐性ウイルスの出現が避けられず、また重篤な副作用により、治療を中断せざるを得ない状況が起こるようになった。そのため、複数の抗 HIV-1薬を個々の患者の症状・体質に応じ、組み合わせて投与する HAART 療法 (Highly Active Anti-Retroviral Therapy) が用いられるようになった。

HAART 療法によって血中のウイルス量を抑制でき、平均余命の長期化が見込めるようになった。ただし、HAART 療法でも、耐性ウイルスの出現や長期投与に伴う副作用など新たな問題点が生じている。そのため、インテグラーゼ阻害薬やケモカイン受容体 (CCR) 5拮抗薬など、新しい作用機

序の医薬品が開発された。既存の医薬品に抵抗性を示す HIV にも有効であり、感染後期の患者が使える医薬品が増えるものと期待されている。

2008年に日本でも発売されたインテグラーゼ阻害薬は、HIV の DNA がヒトの DNA に入る際に作用する酵素のインテグラーゼを阻害し、ウイルスの複製と別の細胞への感染を抑える化合物である。核酸系逆転写酵素阻害薬や非核酸系逆転写酵素阻害薬、プロテアーゼ阻害薬などに耐性を獲得したウイルスにも有効なのが特徴である。

また、2007年に米国で承認を受け、日本でも2008年に希少疾病用医薬品の指定を受けたCCR5拮抗薬は、HIV が T 細胞に進入する際に利用する CCR5に拮抗して感染を阻止するものであり、この薬剤についても核酸系逆転写酵素阻害薬、非核酸系逆転写酵素阻害薬やプロテアーゼ阻害薬などに耐性を獲得したウイルスに有効である。

(3) 科学技術成果のインパクト

① 経済的インパクト

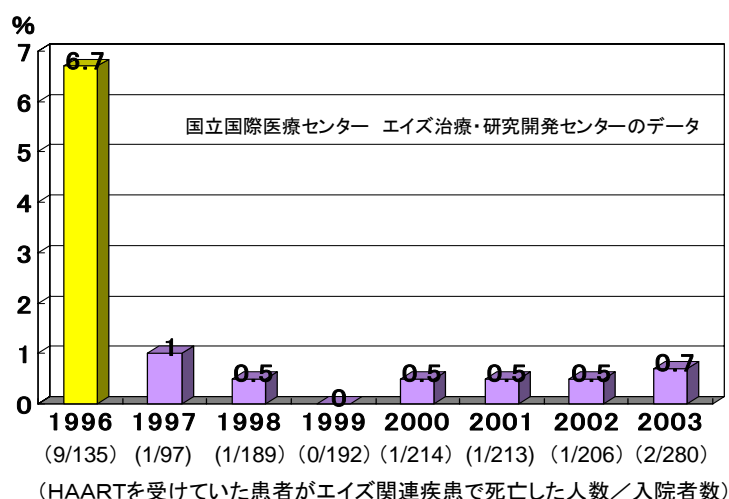
経済的なインパクトとしては、薬の売り上げがあげられる。日本の抗 HIV 薬の市場規模は、2007年で80億円程度である。一方、世界の市場は1兆2,000億円以上で、上位薬剤は年間1,000億円以上の大型製品となっている。

国内製薬企業が大型製品の開発に成功した場合、海外で販売するのは難しいことも多いが、海外メーカーとの共同開発等により、導出した場合でもそのロイヤルティ収入は多額となる。

② 国民生活へのインパクト

抗 HIV 薬開発、HAART 療法導入により、根治には至らないものの、エイズは「死に至る病」から発症進行のコントロールが可能な疾患へと劇的に変化し、エイズによる死亡者は激減した(第2-3-11-6図)。

第2-3-11-6図 HAART 導入後の予後改善の推移



出典：国立国際医療センター エイズ治療・研究開発センター

(4) 政府の果たした役割

熊本大学医学部・満屋裕明らによる当初のエイズ治療薬開発の成功は、米国 NIH (NCI) の支援によりなされた。

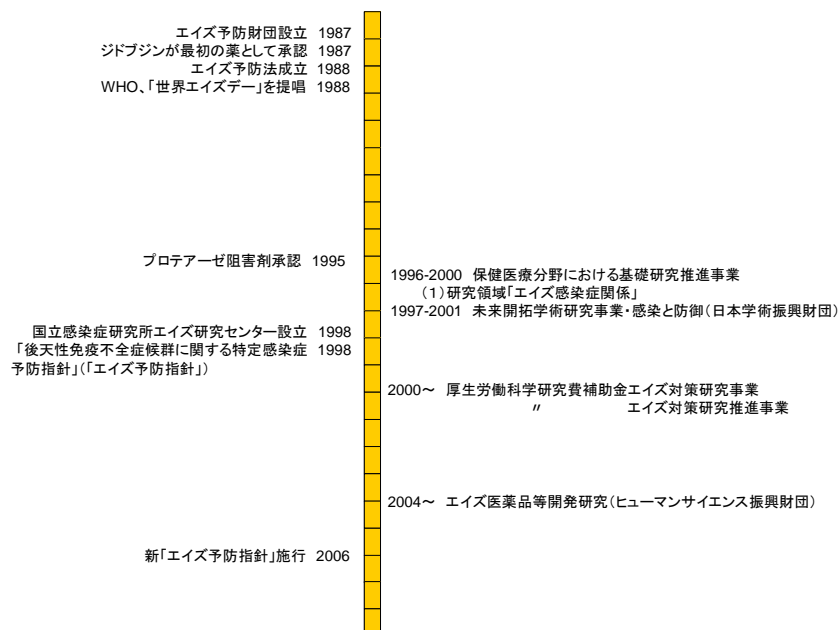
日本でも1990年後半より国の HIV/AIDS の研究支援が活発化した。その対象は、新薬剤開発、治療法の開発とその評価法、診断法開発等々多面的なもので、国を挙げての総合的な取り組みとなった。抗 HIV 薬研究に対しても積極的な支援が行われ、特に熊本大学満屋らは、日本発の新規抗 HIV 剤の開発に多大な役割を果たしている(第2-3-11-7図)。

第2-3-11-7図 日本におけるエイズ予防、研究開発に対する公的支援

<p>拠点 予防</p>	<p>1987 エイズ予防財団 エイズの予防のための知識普及、エイズ診断・治療・予防及びエイズの予防治療等の研究助成並びにエイズに関する国際的な情報交換。</p>
<p>エイズ 研究 センター</p>	<p>1997 国立国際医療センター戸山病院エイズ治療・研究開発センター HIV訴訟の和解を踏まえ、薬害エイズ被害者救済の一環として設置。最先端医療と新規治療法開発のための臨床研究等。</p> <p>1997 熊本大学エイズ学研究センター ウイルス制御分野、病態制御分野、予防開発分野及び客員の流行阻止分野からなり、エイズの病態解析、特に疫学的な研究に重点を置く。</p> <p>1998 国立感染症研究所エイズ研究センター HIV 及び関連ウイルスの構造と増殖、各種動物実験モデル開発、エイズの発症機構、HIVワクチン開発、新治療薬開発等々の研究。</p>
<p>エイズ 研究 助成</p>	<p>1996-2000 保健医療分野における基礎研究推進事業・研究領域「エイズ感染症関係」</p> <p>1996- エイズ医薬品等開発研究(ヒューマンサイエンス振興財団) 抗エイズウイルス薬、エイズ付随症状に対する治療薬の開発、エイズ発症防止薬の開発、抗エイズ薬開発のための基盤技術の開発等</p> <p>1999-2001 未来開拓学術研究事業・感染と防御(日本学術振興財団) 「ヒト免疫不全ウイルス(HIV-1)感染症の病理病態解析とその治療法の開発」</p> <p>2000- 厚生労働科学研究費補助金エイズ対策研究事業／エイズ対策研究推進事業</p> <p>2006から5年間 厚生労働科学研究費補助金「エイズ予防のための戦略研究」(エイズ予防財団) 2010年末迄にHIV抗体検査受検者数を2倍にし、発症者数を25%減少させる。</p>

出典：(株)三菱総合研究所作成

第2-3-11-8図 日本におけるエイズに対する公的取組み(年次別推移)



出典:(株)三菱総合研究所作成

国の抗 HIV 薬研究支援の成果の例として、2000-2002年度「厚生労働省科学研究費補助金 HIV 感染症の治療に関する研究」があげられる。この中で、熊本大学医学部満屋は「新しい抗 HIV 薬の開発に関わる臨床研究」の分担研究を行った。

その成果として、薬物動態に優れ、抗 HIV 活性が既存薬剤の100倍強力であり、かつ既存の抗 HIV 剤と全く交差耐性を示さない新規 SDP (spirodiketopiperazine) 誘導体 (CCR5阻害剤) AK602 が見出された。同研究では満屋らとともに、合成能力に優れた小野薬品の研究者の連携が生かされた。その化合物は小野薬品が GSK (GlaxoSmithKline) 社に導出、おしくも肝毒性のため臨床第3相 (P-3) で開発中止となったが、その後の同種薬剤の開発に道を拓いた。

(5) 今後の展開

抗 HIV 薬の開発は進んでいるとはいえ、その根治には未だいたっていない。また耐性ウイルスに対する薬剤、副作用のより少ない薬剤、飲みやすい薬剤などの新規の薬剤開発と治療法開発は継続して必要とされる。また、エイズは途上国で患者が多く、高価な抗 HIV 薬は十分には利用できない状況にある。この点に対して日本を含めた先進国の支援が期待される。

(6) 参考文献

- ・ 厚生労働省エイズ動向委員会報告 http://api-net.jfap.or.jp/mhw/survey/mhw_survey.htm
- ・ 別冊 日経サイエンス 感染症の脅威
- ・ MIIリソース エイズ治療剤 http://www.medmk.com/mm/add/mp_hivs.htm
- ・ 日経 BP 社 日経バイオ年鑑 2009
- ・ 堀田佳男 MITSUYA エイズ治療薬を発見した男 旬報社(1999年)
- ・ (財)エイズ予防財団 エイズ予防情報ネット <http://api-net.jfap.or.jp/htmls/frameset-01.html>

11.-3 C型肝炎

(1)事例の背景

かつてウイルスが同定されなかった時期は、非 A 非 B 型肝炎と呼ばれていた疾患である。1988 年、米国カイロン社が輸血後、非 A 非 B 型肝炎の原因ウイルスの遺伝子クローニングに成功し、その後、その原因ウイルスが C 型肝炎ウイルス(HCV)と名付けられたウイルスが同定されるまでは、輸血が主な感染経路であり、全体の約70%を占めていた。このうち、血液製剤からの感染を原因として、血友病患者の罹患率が高いことが報告されている。

HCV の同定に続いて診断技術が開発され、日本で血液スクリーニングにいち早く導入されたため(1989年)、輸血による C 型肝炎の発生は激減した。しかしながら、現在我が国には約200万人、全世界には約1.7億人もの感染者が存在すると推定されている。(国立感染症研究所でのヒアリング結果による)

HCV感染に伴って急性肝炎を発症した後、30～40%ではウイルスが検出されなくなり、肝機能が正常化するが、残りの60～70%はHCVキャリア^(注1)になり、多くの場合、急性肝炎からそのまま慢性肝炎へ移行する。慢性肝炎から自然寛解^(注2)する確率は0.2%と非常に稀で、10～16%の症例は初感染から平均20年の経過で肝硬変に移行する。肝硬変の症例は、年率5%以上と高率に肝細胞癌を発症する。40歳のHCVキャリアの人々を70歳まで適切な治療を行わずに放置した場合、20～25%が肝細胞癌に進展すると予測される。肝癌死亡総数は年間3万人を越え、いまだに増加傾向にあるが、その約8割がC型肝炎を伴っている。従って、HCVは、公衆衛生上最も重要な病原ウイルスの一つであるといえる。

C型肝炎に関する国内外の研究開発、制度面等の推移を**第2-3-11-9表**にまとめる。

(注1) キャリアとは、ウイルスを体内に所持していながら、疾患を発症していない人のことである。ここでは、HCV に感染していながら、C型肝炎を発症していない人を指す。

(注2) 症状が軽くなる、もしくは症状が消える状態のこと

第2-3-11-9表 C型肝炎に関する国内外の研究開発、制度面等の推移

年次	海外の動向	日本の動向
1954年		東京大学伝染病研究所の長野泰一氏と小島保彦氏が“ウイルス抑制因子”(インターフェロン)を見出す
1957年	英国のAlick Isaacsらが、ウイルスを“妨害するもの”、または“干渉するもの”という意味で、interference の単語をもじって interferon (インターフェロン)と命名)	
1970年代		・科学技術庁(1972年～「インターフェロンの開発に関する総合研究調査班」他) ・厚生省研究班(1976～1977年度「IFN製剤開発研究班」、1978～1980年度「IFNの臨床応用に関する特別研究班」)
1980～1985年		・新技術事業団(1980～1985年度、現科学技術振興機構(JST)「ヒト2倍体細胞由来インターフェロン製剤の開発」) 東レへの委託より、天然型インターフェロンの高純度生成技術確立
1986年	非A非B型肝炎(現在のC型肝炎)患者に対するインターフェロン(IFN)療法が海外の2研究グループにより初めて報告された	
1988年	米国カイロン社が輸血後非A非B型肝炎(C型肝炎)の原因ウイルスの遺伝子クローニングに成功(論文発表は1989年)	
1989年		世界に先駆けて献血時にHCV抗体スクリーニング導入
1991年	遺伝子組み換えインターフェロン α をC型肝炎に適応拡大(1986年、毛様細胞性白血病の治療薬として発売)	
1992年		・遺伝子組み換えインターフェロン α が、慢性活動性C型肝炎の治療薬として適応拡大(1988年1月に最初は腎臓がんの治療薬として販売) ・C型肝炎ウイルス検査に保険適用 ・献血血液に対して、第2世代HCV抗体検査法(PHA法)を導入
1993～1994年		・HCV蛋白質のプロセシング機構を明らかにした(国立がんセンター(現京大)の下遠野ら) ・HCV蛋白質の翻訳メカニズムを明らかにした(東京都臨床医学総合研究所の小原ら)
1999年		日本赤十字社はHCV、HBV、HIVの遺伝子を調べるNAT(核酸増幅検査:nucleic acid amplification test)センターを設立
2001年		インターフェロンとリバビリンとの併用療法に2001年12月から医療保険が適用
2002年	・PEGインターフェロン α 製剤の慢性C型肝炎、初期の肝硬変患者に対する適応が欧州、米国で認可された	インターフェロンの保険適用上の投与期間の制限撤廃
2004年		HCVを実験室レベルで効率よく複製増殖させることに成功(東京都神経科学総合研究所の脇田ら)
2005年		厚生労働省「C型肝炎対策等に関する専門家会議」
2008年		・肝炎研究7か年戦略 ・薬害肝炎救済法 ・インターフェロン治療に対する医療費助成開始

出典:(株)三菱総合研究所作成

(2) 研究開発の経緯

① スクリーニング、診断に関する研究開発

1988年、米国カイロン社が、非A非B型肝炎の原因ウイルスの遺伝子クローニングに成功した。この方法を用いて、我が国では1989年、世界に先駆けて献血時のHCV抗体スクリーニングを開始し、以前はHCV感染経路のうち5割を占めていた輸血によるものが激減した。しかし、この方法は早期診断としては十分といえず、抗体検査として、検出感度、速度を高める、第二世代、第三世代の診断法が開発された。

上記の各種抗体検出系の開発とともに、HCVのウイルス学的特性についても研究が進められた。これまでの研究により、C型肝炎ウイルスの遺伝子型(ジェノタイプ)には、1a、1b、2a、2bの4つの型があることが明らかになっている(日本人ではC型肝炎の7割が1b型、2割が2a型、1割が2b型で、1a

型はほとんどいない)。このような HCV 遺伝子の多様性、変異性が明らかにされた背景には、日本人研究者の研究が貢献しており、HCV 分類法の確立とともに、慢性感染成立のメカニズム解明にも寄与している。

② 肝癌の発症に関する研究開発

C 型肝炎を起因とした肝がんの発症についても数多くの研究開発成果が報告されている。国立感染症研究所の宮村達男らは、HCV 感染が肝がんの発症に関連することを初めて報告した。また、東京大学医学部の小池和彦らは HCV 感染に起因する肝発がん HCV コア蛋白質が重要な役割を果たすことを見出した。これらの研究は、肝癌予防としての HCV 対策の重要性を提示することに役立った。また、HCV による発がんのメカニズム解明につながり、肝癌治療薬開発の道を拓いた。

③ 治療薬開発

● インターフェロンの発見・利用

インターフェロン (IFN) は、1954年に東京大学伝染病研究所 (現医科学研究所) の長野泰一と小島保彦が発見し、当時は“ウイルス抑制因子”と名付けた化合物である。その後、1957年に英国の Alick Isaacs らが、ウイルスを“妨害するもの”、または“干渉するもの”という意味で、interference の単語をもじって interferon (インターフェロン) と命名した。

1986年、非 A 非 B 型肝炎 (現在の C 型肝炎) 患者に対する IFN 療法が海外の2研究グループにより初めて報告された。1986年には米 Schering-Plough 社により毛様細胞性白血病の治療薬として遺伝子組み換え IFN α が発売されていたが、91年2月に C 型肝炎に適応拡大された。日本では、1988年1月に最初は腎臓がんの治療薬として販売、89年10月に慢性活動性 B 型肝炎の治療薬、91年12月に慢性骨髄性白血病、多発性骨髄腫の治療薬、92年3月に慢性活動性 C 型肝炎の治療薬として適応拡大された。

IFN は抗 HCV 薬として最も有効性が確立しており、従来の単独投与に加え、リバビリン^(注1)との併用療法に 2001年12月から医療保険が適用されるようになった。また2002年2月からは IFN の保険適用上の投与期間の制限が撤廃され、IFN 療法の選択肢は広がった。

一般に、IFN によって HCV が排除されるのは30%程度、リバビリンとの併用療法の場合で約 40% と言われている。しかしながら、IFN 療法でウイルスを排除できなかった場合でも、肝炎の 進行を遅らせ、肝癌の発生を抑制、遅延させる効果を示すこともある。

● 治療薬開発に寄与する日本の研究開発

国立がんセンター (当時) の下遠野邦忠らは、1993～1994年にかけて、HCV 蛋白質が変換、作用されるしくみを明らかにし、HCV プロテアーゼを標的とした抗 HCV 薬の開発に大きく寄与した。プロテアーゼ阻害剤^(注2)は実用化間近である。

東京都臨床医学総合研究所の小原らは、1993年頃から HCV 蛋白質の翻訳メカニズムを明らか

(注1) 1970年代に開発されたカプセル入りの内服薬で、呼吸器感染症やヘルペスなどに使用されていたがインターフェロンと併用することにより、抗ウイルス作用を発揮することが分かった。現在では、C 型慢性肝炎の治療に、インターフェロンとリバビリンの併用療法が標準的な治療法のひとつになっている。

(注2) ウイルスが複製される時に、プロテアーゼという酵素が働くが、それを阻害することで C 型肝炎ウイルスを減少させようとする薬

にし、HCV に特徴的な翻訳調節機構を標的とした抗 HCV 薬の開発に寄与した。抗 HCV 翻訳阻害剤は臨床試験中である。

東京都神経科学総合研究所の脇田隆字らは、2004年に HCV を実験室レベルで効率よく複製増殖させることに成功した。この研究は HCV のライフサイクル解明等ウイルス学研究の進展に大きく寄与した。治療薬探索、ワクチン開発に本技術が導入され、創薬研究に貢献している。

(3) 科学技術成果のインパクト

① 経済的インパクト

経済的には、IFN の事業化は、日本の企業にとってバイオ医薬品の先駆的役割を担い、その後のバイオ医薬品開発における基盤技術確立、開発・事業化体制の確立といった面で、意義があった。

② 社会的インパクト

C 型肝炎研究進展により、肝臓癌を含めた患者数の増加抑制が可能になり、この点は結果として医療費削減につながったと考えられる。

③ 国民生活へのインパクト

1989年、世界に先駆けて献血時に HCV 抗体をスクリーニング開始し、以前は HCV の感染経路のうち5割を占めていた輸血によるものが激減した。さらに、スクリーニング方法を改善することで、その成果が向上した。また、有効な治療法がなかった C 型肝炎に対し、IFN 製剤が根本的治療法を提供した意義は大きく、患者の QOL 向上に寄与した。公的保険適用の拡大、IFN とリバビリン併用療法の実現により、その効果は拡大した。

さらに、日本では肝臓癌で毎年3万人以上が死亡し、その8割近くが C 型肝炎からの発生である。しかし、C 型肝炎からの肝臓がんの発症が明確になったことで、肝臓がんを早期に発見し、また予防をすることが可能になりつつある。肝臓がんによる死亡者は最近増加が抑制される傾向にあり、C 型肝炎研究の寄与が大きかったと考えられる。

(4) 政府の果たした役割

① スクリーニング、診断・検査、予防に対する役割

● スクリーニングへの利用

1989年世界に先駆けて献血時に HCV 抗体をスクリーニング開始し、以前は HCV の感染経路のうち5割を占めていた輸血によるものが激減した。さらに1992年には献血血液に対して、第2世代 HCV 抗体検査法 (PHA 法) を導入し、早期のスクリーニングが可能になった。

・厚生科学研究による貢献

厚生科学研究「新興再興感染症研究」において、C型肝炎対策として「疫学」「病態」「臨床」「対策」の4つの研究班が2001年に発足し、HCV 検診の普及啓発、HCV 検診の合理的な検査法の実施、検診によって発見された HCV キャリアの初診率、継続受診向上、発見された HCV キャリアの健康管理等が実施された。

・ 肝臓がん予防研究

C 型肝炎から肝臓がんが発症する機構解明、C 型肝炎ウイルス感染者の肝臓がん発生関連要因の検討等の研究に対する支援が行われ、肝臓がん予防研究に役割を果たした。

② IFN 等の薬剤開発、利用に対する役割

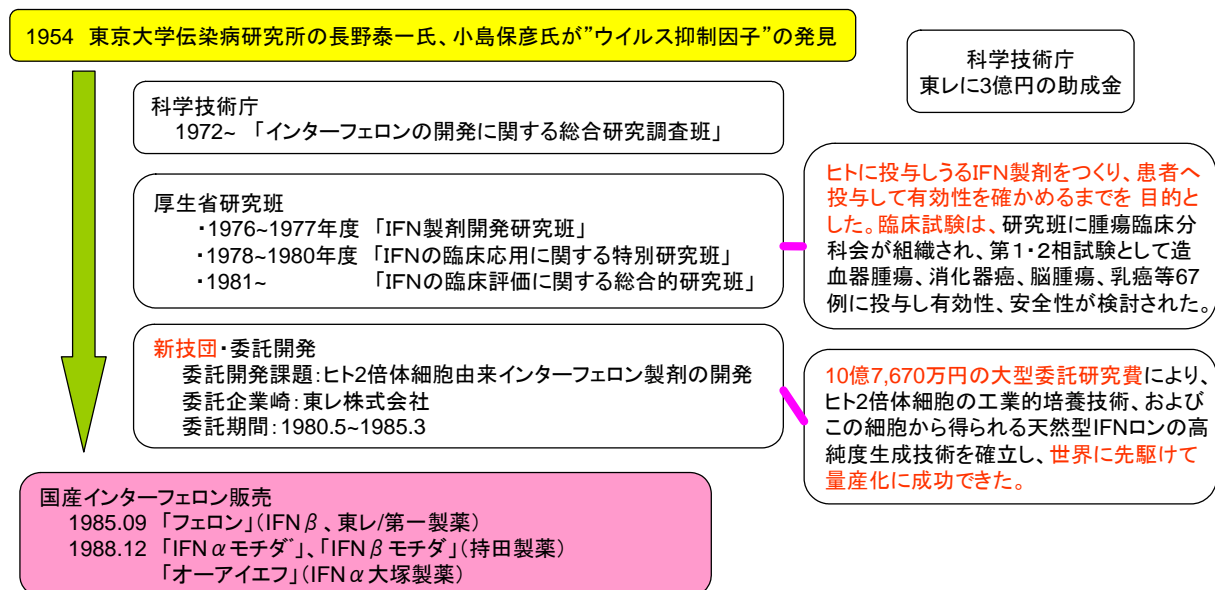
● IFN の開発に対する役割

IFN 開発の初期段階は、以下のように文部科学省、厚生労働省等が支えたと言える。厚生労働省研究班では、産官学協同で医薬品化の可能性が迫られた。

- ・ 科学技術庁(1972年～「インターフェロンの開発に関する総合研究調査班」他)
 - IFN 開発に対する先駆的取組みであり、その後開発に成功する東レも参加していた。後に科学技術庁からは東レに対して開発助成金も出されている。
- ・ 厚生労働省研究班(1976～1977年度「IFN 製剤開発研究班」、1978～1980年度「IFN の臨床応用に関する特別研究班」 1981年度～「IFN の臨床評価に関する総合的研究班」)
 - ヒトに投与しうる IFN 製剤をつくり、患者へ投与して有効性を確かめるまでを 目的とした。
- ・ 新技術事業団(1980～1985年度、現科学技術振興機構「ヒト2倍体細胞由来インターフェロン製剤の開発」)
 - 東レへの10億7,670万円の大型委託研究費により、ヒト2倍体細胞の工業的培養技術、およびこの細胞から得られる天然型インターフェロンの高純度生成技術を確立し、世界に先駆けて量産化に成功できた。

以上を勘案したIFNの開発経緯を、第2-3-11-10図に示す。

第2-3-11-10図 IFN の開発経緯



出典:(株)三菱総合研究所作成

- ・ IFN 等の薬剤利用に対する役割

IFN の C 型肝炎への利用について、厚生労働省は第2-3-11-11表のように保険の適用を拡大した。

第2-3-11-11表 IFN への保険適用拡大に関する年表

1992年	IFN について C 型肝炎慢性活動性肝炎の効能追加がなされ、初回投与のみ保険適用となった。
1997年	非活動性の C 型肝炎慢性肝炎に IFN の保険適用。
2000年	C 型肝炎に対する IFN の再投与に保険適用。
2001年	IFN・リバビリン併用療法に保険適用。
2008年	IFN 治療に対する医療費助成開始。

出典：(株)三菱総合研究所作成

④ C 型肝炎全般に関する役割

● 肝炎研究7ヵ年戦略(2008年)

2008年、厚生労働省は「肝炎研究7ヵ年戦略」を立て、C 型肝炎は根治率を50%から70%に、非代償性肝硬変は5年生存率を25%から C 型肝炎由来で35%まで改善、進行肝がんは5年生存率を25%から40%にするという治療目標を設定した。

主な研究目標は、「B 型肝炎では多剤耐性の解明」、「C 型肝炎では根治率の改善や副作用の少ない治療薬・治療法の開発」、「肝硬変では再生医療による根治療法の開発を目指す」、「肝がんでは分子標的薬の新規開発や、がんの診断マーカー開発のための臨床研究に加え、治療用ワクチンなども開発」、の4点としている。

● 薬害肝炎救済法(2008年)

2008年に定められた「薬害肝炎救済法」では、血液製剤フィブリノゲンと第九因子製剤の投与により C 型肝炎ウイルスに感染した人に対しては、提訴の必要なく救済金を支出するとされている。また、肝硬変、肝がん、死亡の場合には4000万円、慢性 C 型肝炎には2000万円、症状がない C 型肝炎ウイルスの感染者には1200万円が支給される。

(5) 今後の展開

C 型肝炎の治療薬については、第一世代のインターフェロン製剤から、PEG化製剤とリバビリン併用療法にシフトしている。しかし、国内製薬企業は PEG 化製剤を自社開発していない。そのため、日本企業のシェア回復には、新製剤の開発が必須である。この点については、プロテアーゼ阻害剤、抗 HCV 翻訳阻害剤等の研究開発及びそれらの実用化が待たれる。

(6) 参考文献

- ・ 厚生労働省 C 型肝炎
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kekkaku-kansenshou09/02-05.html>
- ・ 厚生労働省 新しい肝炎総合対策の推進
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kekkaku-kansenshou09/index.html>

- ・厚生労働省 C 型肝炎対策等の経緯
<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2005/03/dl/s0303-12e.pdf>
- ・厚生労働省 C 型肝炎対策等に関する専門家会議報告書「C 型肝炎対策等の一層の推進について」
- ・厚生労働省 第1回 C 型肝炎対策等に関する専門家会議 C 型肝炎対策等の経緯 資料3-1
- ・厚生労働省 C 型肝炎対策等に関する専門家会議
<http://www.mhlw.go.jp/shingi/other.html>
- ・国立感染症研究所 感染症の話 C型肝炎
http://idsc.nih.go.jp/idwr/kansen/k04/k04_12.html
- ・MLリソース C型肝炎 http://www.medmk.com/mm/add/1054_ad2.htm
- ・MLリソース 肝炎 http://www.medmk.com/mm/add/mp_hepatitis.htm
- ・日経 BP 社 日経バイオ年鑑2009

11-4 SARS(Severe Acute Respiratory Syndrome:重症急性呼吸器症候群)

(1)事例の背景

SARSは原因不明の急性肺炎として2003年にアジアを中心に拡大した。SARSの最初の症例は、2002年11月中旬に中国広東省で発生した。その後、ベトナム、香港、シンガポール、トロントなど世界中に短期間で感染が広がった。

重篤な肺炎症状と死亡率の高さ故に世界を震撼させた新興感染症であるが、2004年7月にWHOにおいてその流行の終息宣言が行われた

(2)研究開発の経緯

① SARS ウイルスの発見

2003年3月、WHOによりSARSの病原体の同定と検査方法の確立を目的として、9カ国、11研究施設で構成される多施設共同ネットワークが開設された。日本においては、国立感染症研究所が参加した。これらの研究室では、結果の隠匿を行わない、業績は争わないことが了解されて情報共有による迅速な研究が進められた結果、1ヶ月という短期間でSARSの病原体である新種のコロナウイルスが発見された。

② SARS 検査試薬の開発

長崎大学熱帯医学研究所の森田公一、国立感染症研究所の田代真人及び栄研化学株式会社の共同開発によりSARS検査試薬が開発され、2003年12月に厚生労働省から体外診断薬としての承認を受けた。この試薬を用いると、20分以内でウイルスの検出が可能である。香港、ベトナム、モンゴル、台湾、シンガポールの協力により、病日が多様で多数の患者検体(便、血清、咽頭材料等)について検体感度を確認したところ、発症後5日以内でもウイルスの検出率が80%以上と高いことがわかった。検査試薬は、2003年、全国の衛生研究所や検疫所における早期検査用に配付され、SARSウイルスの国内侵入を未然に防止した。

③ SARS 治療方法の開発

● SARS ウイルスの増殖を阻害する化合物の発見

2004年、独立行政法人理化学研究所、東京医科歯科大学、国立感染症研究所は、SARSウイルスのタンパク質の立体構造に基づいて、コンピュータを利用した薬剤設計により、SARSウイルスの増殖を阻害する医薬品候補物質となる化合物(リード化合物:医薬品の原石となる化合物)を発見した。

● SARS のウイルスの抗体作成に成功

2007年、国立国際医療センター研究所や国立感染症研究所などは、SARSのウイルスを免疫反応で攻撃する抗体を作ることに成功した。研究チームにはキリンビール、東京医科歯科大学、久留米大学なども含まれ、中国医学院と協力して動物実験も進めている。研究チームはマウスなど動物を使い、人用の抗体を作った。また、北京にある中国医学院実験動物研究所では、アカゲザルを使い、将来のSARS流行に備えて薬を作るために、抗体の効果を実験中である。

(3)科学技術成果のインパクト

WHOによると、2003年9月26日に発表した2002年11月1日から2003年7月31日までの期間にお

ける全世界での感染者数(可能性例)は8,098名、死亡者数774名であった。日本では、行政による迅速な SARS 検査試薬の開発により、SARS の国内への侵入が未然に防止された。

(4) 政府の果たした役割

2003年度科学技術振興調整費による緊急研究開発等にて「重症急性呼吸器症候群(SARS)の診断及び検査手法等に関する緊急調査研究」を指定し、厚生労働省及び文部科学省の研究費の研究により、SARS ゲノム疫学研究、SARS ウイルスの検査法及びウイルス性気道感染症の鑑別診断法の開発、SARS ウイルスに対するワクチンの研究が実施された。

また、2004年に独立行政法人理化学研究所などによって開発された SARS ウイルスの増殖を阻害する医薬品候補物質となる化合物発見は、文部科学省の「タンパク3000プロジェクト」の研究成果である。

(5) 今後の展開

国立感染症研究所や国立療養所近畿中央病院等が共同で、SARS ワクチンの開発に取り組んでいるが、ウイルスの病原性や免疫機能等の解明に関する基礎的な研究が必要であり、ワクチンの安全性や有効性の確認のために年単位の期間を要するため、開発にはさらに時間がかかると考えられている。

(6) 参考文献

- ・ 平成19年度科学技術白書、第1部 第1章 第3節 1 社会を変えた科学技術の成果
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa200701/
- ・ 平成15年度科学技術振興調整費について
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyoutyou/chouseihi4.pdf>
- ・ (独)理化学研究所プレスリリース 抗 SARS ウイルス剤の候補化合物を発見
http://www.riken.jp/r-world/info/release/press/2004/040908_3/index.html
- ・ 国立国際センター研究所 新興・再興感染症など
<http://www.imcj.go.jp/rese/top/j/infectious.html>
- ・ 2007/04/23日本経済新聞 朝刊 25ページ

11.-5 新型インフルエンザ

(1) 事例の背景

新型インフルエンザとは、人類のほとんどが免疫を持っていないために容易に人から人へ感染するものであり、世界的な大流行（パンデミック）が引き起こされ、大きな健康被害とこれに伴う社会的影響が懸念されるインフルエンザをいう。近年、鳥インフルエンザ（H5N1亜型）が鳥から人に感染する事例が数多く報告されており、この鳥のインフルエンザウイルスが変異し、新型インフルエンザが発生する可能性が危惧されている。

WHOは、世界に新型インフルエンザパンデミックの脅威の深刻さ、およびより高度の事前計画活動を実施する必要について知らせるための制度として、パンデミック警報の6つのフェーズを用いている。それによると、現在の警報フェーズは3であり、これは「新しい亜型ウイルスによるヒト症例がみられるが、効率よく、持続した伝播はヒトの間にはみられていない」時期とされている^(注1)。

世界各国では現在、WHOの警報を基に新型インフルエンザ対策を進めているところであり、日本においても2007年に「新型インフルエンザガイドライン（フェーズ4以降）」が策定され、基礎研究等の新型インフルエンザ対策が進められている。

(2) 研究開発の経緯

① 鳥インフルエンザの疫学調査

北海道大学の喜田宏は、アジア各地における鳥インフルエンザの疫学調査を行い、多くのカモから多数のウイルスを分離した。米国、香港などと協力して遺伝学的・系統学的な解析を行った結果、アメリカのヒトウイルスとは系統が異なるユーラシア系統のウイルスを見出し、H2型亜群のウイルスの分布を明らかにした。

厚生労働省は、新型インフルエンザワクチンを生産、または生産期間を短縮するための準備の一つとして、1998年度よりトリ及びブタインフルエンザの系統調査、保存事業を開始し、現在までに分離されている15亜型全ての代表的ウイルス株の収集を終えている。

② インフルエンザウイルスの人工合成に成功

1999年、河岡義裕（当時、米国ウィスコンシン大学。現在は東京大学医科学研究所）はインフルエンザウイルスのリバーシ・ジェネティクス法を開発し、世界で初めてインフルエンザウイルスを遺伝子から人工合成することに成功した。当該技術はインフルエンザの研究を飛躍的に促進させるとともに、特定のワクチンを短時間で製造することを可能とし、インフルエンザワクチン開発に大きく貢献している。なお、河岡義裕は北海道大学での研究時代に喜田宏の影響を受けている。

③ ワクチンの研究開発

2006年、（社）北里研究所、デンカ生研（株）、（財）阪大微生物病研究会、（財）化学及血清療法研究所が開発している新型インフルエンザのプレパンデミックワクチンのフェーズIが終了した。このワクチンは、国立感染症研究所がリバーシ・ジェネティクスの手法を使って作製したH5N1亜型インフルエンザウイルスの弱毒株の提供を4社が受け、それぞれが開発を進めてきたものである^(注2)。

(注1) 2005年、国立感染症情報センターHPより、<http://idsc.nih.go.jp/disease/influenza/05pandemic/0511phase.html>

(注2) 2006/10/23 日経バイオテク 3ページ

2008年8月から2008年12月にかけて、新型インフルエンザの発生に備えて政府が備蓄しているプレパンデミック(大流行前)ワクチンを、医療関係者などに事前接種する厚生労働省の臨床研究が実施された。国立病院機構・三重病院の庵原俊昭を責任者とする厚生労働省研究班が実施し、各株3000人、合計6000人を対象とした大規模な臨床研究が実施された。インフルエンザワクチンとしては、(社)北里研究所が開発した沈降新型インフルエンザワクチン H5N1「北研」(安徽株)と(財)阪大微生物病研究会が開発した沈降新型インフルエンザワクチン H5N1「ビケン」(インドネシア株)が用いられた。

日本では、デンカ生研(株)と(財)化学及血清療法研究所が新型インフルエンザワクチンを承認申請中のほか、UMN ファーマが遺伝子組み換え HA ワクチンに関して、厚生労働省から希少疾病用医薬品の指定を受けてフェーズ I/II を実施している。また、GlaxoSmithKline 社が08年5月に欧州で承認を受けた、独自のアジュバント(免疫応答の増強を促す物質)を使った新型インフルエンザワクチン「Prepandrix」も8月に厚労省から希少疾病用医薬品の指定を取得しており、グラクソ・スミスクラインは08年内にも日本での治験を開始する計画である。

海外では2007年に Glaxo-SmithKline 社、Sanofi Pasteur 社、Novartis 社が相次いでワクチンの承認を取得している。海外企業は小児用のワクチンに加え、成人・老人向けの製品や治療効果の高いワクチン開発を進めていることが特徴的である。

④ 新型インフルエンザウイルスの検出キットの開発

2007年、大阪府立公衆衛生研究所の高橋和郎らはH5亜型の鳥インフルエンザウイルスだけを迅速に検出する新しい診断法を世界で初めて開発した。現在、臨床で行われているインフルエンザの診断方法は、A型のH1～H15亜型全てを検出するものであるが、本診断法はA型インフルエンザウイルスのうちH5亜型インフルエンザウイルスを特異的に認識することができる^(注1)。

(3) 科学技術成果のインパクト

20世紀では、1918年に「スペインインフルエンザ」、1957年に「アジアインフルエンザ」、1968年に「香港インフルエンザ」、1977年に「ソ連インフルエンザ」が流行した。これらはいずれも世界的に流行し、時に多くの死亡者を出した。例えば、「スペインインフルエンザ」においては、世界では約4,000万人、我が国では約39万人が死亡している。

現在日本で実施されているプレパンデミック(大流行前)ワクチンの臨床研究の結果が3月末にもまとめ、政府は早ければ2009年度中に発生前接種を始める考えである^(注2)。

政府の「新型インフルエンザ対策行動計画」で想定されている、感染者数3200万人、死亡者64万であれば、罹患による損失が4.15兆円、死亡による損失が170.82兆円、合計で176.95兆円の経済的損失が発生すると推定される。適切な予防・治療が行われることにより、これらの経済的損失の多くを予防することができる。

また、日本のワクチン市場は2007年度で760億円程度であり、ワクチン市場の約6割をインフルエンザワクチンが占めている。世界全体でもインフルエンザワクチンは市場の3割程度を占めるとみられている。したがって、インフルエンザワクチンの開発と、国レベルでの計画的な接種は、経済、産業面において大きな貢献をもたらすものと考えられる。

(注1) 2007/01/09 毎日新聞 朝刊 3 ページ、<http://www.j-tokkyo.com/2007/C07K/JP2007-261988.shtml>

(注2) 2009/03/16 熊本日日新聞 朝刊 5 ページ

(4) 政府の果たした役割

厚生労働省では1997年に新型インフルエンザ対策検討会が設置され、新型インフルエンザに関する諸問題が検討された。そこで報告された「新型インフルエンザ対策検討会報告書」及び、毎年のインフルエンザ対策の確立を目標とした「インフルエンザ特定感染症対策要綱」に沿って、新型インフルエンザ対策の策定・実施が進められてきた。

また、厚生労働省は2003年に「新型インフルエンザ対策検討小委員会」を設置し、2004年には1997年の報告書を改定する形で新型インフルエンザ対策報告書をまとめている。この報告書を受けて、厚生労働省は抗インフルエンザウイルス薬の備蓄に関する検討に入り、新型インフルエンザワクチンの開発の支援を行った。さらに、2005年には「新型インフルエンザ対策推進本部」を設置し、鳥インフルエンザなどに対する関係省庁対策会議を開催し、「新型インフルエンザ対策行動計画」を公表した。その後、2005年度末に新型インフルエンザ専門家会議が、サーベイランス、公衆衛生対策、ワクチン・抗ウイルス薬、医療、情報提供・共有の5つの部門として設置され、2007年に「新型インフルエンザガイドライン(フェーズ4以降)」が策定された。

これらの方針により、厚生労働科学研究費補助金、文部科学省科学研究費補助金による基礎研究が進められてきた。また、「平成17年度科学技術振興調整費による緊急研究開発等」が採択され、プロトタイプ・ワクチン(パンデミックを起こすであろうと予測されている A 型インフルエンザウイルス亜型の株を用いて製造されたワクチン)の生産基盤整備のための研究、ワクチンの生産性向上のための研究が行われている。

(5) 今後の展開

新型インフルエンザはまだ発生していない状況であり、対策についても不確定要素が大きい。過去のインフルエンザのパンデミックの経験等を踏まえると、一つの対策に偏重して準備を行うことは、大きなリスクを背負うことになりかねないため、地理的な条件、交通機関の発達度、医療体制、受診行動の特徴等の国民性も考慮しつつ、各種対策を総合的・効果的に組み合わせていくことが求められている。

(6) 参考文献

- ・ 2006/10/23 日経バイオテク 3ページ
- ・ 2009/03/16 熊本日日新聞朝刊 5ページ
- ・ 大日康史 新型インフルエンザパンデミックの経済的損失のインパクトの予想と対策 臨床と研究 85巻12号(2008年12月)
- ・ 総合科学技術会議 新型インフルエンザ・ワクチンの生産に関する緊急調査研究
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyoutyou/shinkochousei1124.pdf>
- ・ 厚生労働省 新型インフルエンザ専門家会議 資料6 プレパンデミックワクチンに関する臨床研究の概要 <http://www.mhlw.go.jp/shingi/2008/07/dl/s0730-13i.pdf>
- ・ (独)科学技術振興機構 科学技術振興機構報 第576号
- ・ (社)北里研究所 新型インフルエンザワクチンの承認について
http://www.jmacct.jp/ct/files/vaccine_20071019.pdf
- ・ 日経 BP 社 日経バイオ年鑑2009
- ・ MLリソース インフルエンザ http://www.medmk.com/mm/add/mp_influenza.htm

- ML リソース 抗インフルエンザウイルス薬
http://www.medmk.com/mm/add/1063_ad2.htm
- 厚生労働省 新型インフルエンザ対策報告書
<http://www.mhlw.go.jp/topics/2004/09/tp0903-1.html>
- 2007/01/09 毎日新聞 朝刊 3ページ
- Geriatric Medicine 高齢者の冬季感染症の現状と対策 Vol.46 No.11 (2008年)
- 感染対策 ICT ジャーナル 「ワクチンと新型インフルエンザ(H5N1)」 Vol.3 No.4 (2008年)
- 厚生労働省 新型インフルエンザ対策行動計画
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kekaku-kansenshou04/13.html>

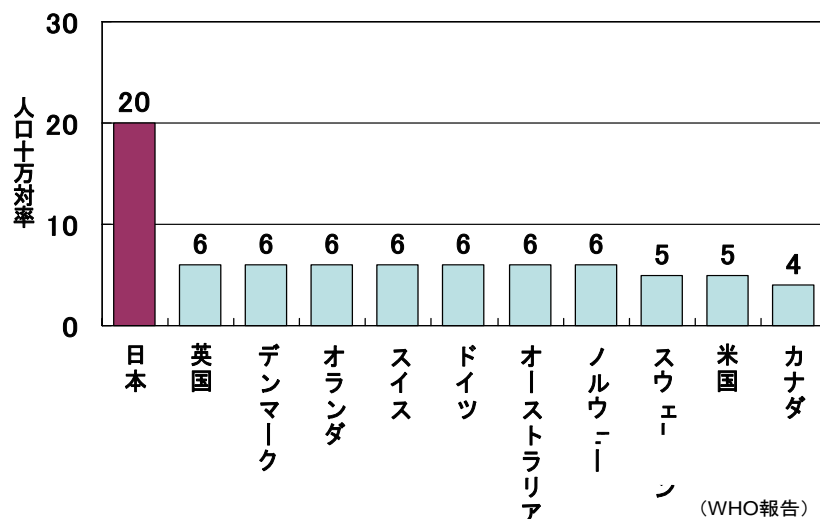
11-6 結核

(1) 事例の背景

1944年に米国の Waksman らにより見出されたストレプトマイシンについて、1951年に社会保険適用が適応されたことを始めとして、1950年代から1960年代にかけ開発された国産のカナマイシン、エンビオマイシンを始めとする数々の抗結核薬は1950年に人口の4%程度あった罹患率を急減させ、国民の結核罹患の恐怖から解放した。しかし、結核治療に大きな貢献をした抗結核薬であるが、1980年代より多剤耐性菌、1990年代後半には超多剤耐性菌が出現し、大きな脅威を生み出した。1996～1997年には、国内で、減少していた結核患者数が38年ぶりに増加し、厚生労働省は1999年に「結核緊急事態宣言」を行った。

2007年の結核罹患率は、人口十万人当たり、19.8人と初めて20人以下となったが、新登録結核患者数は今なお2万5千人を超えている。日本の結核罹患率は他の先進国の数倍であり、先進国の中で最も罹患率が高い(第2-3-11-12図)。

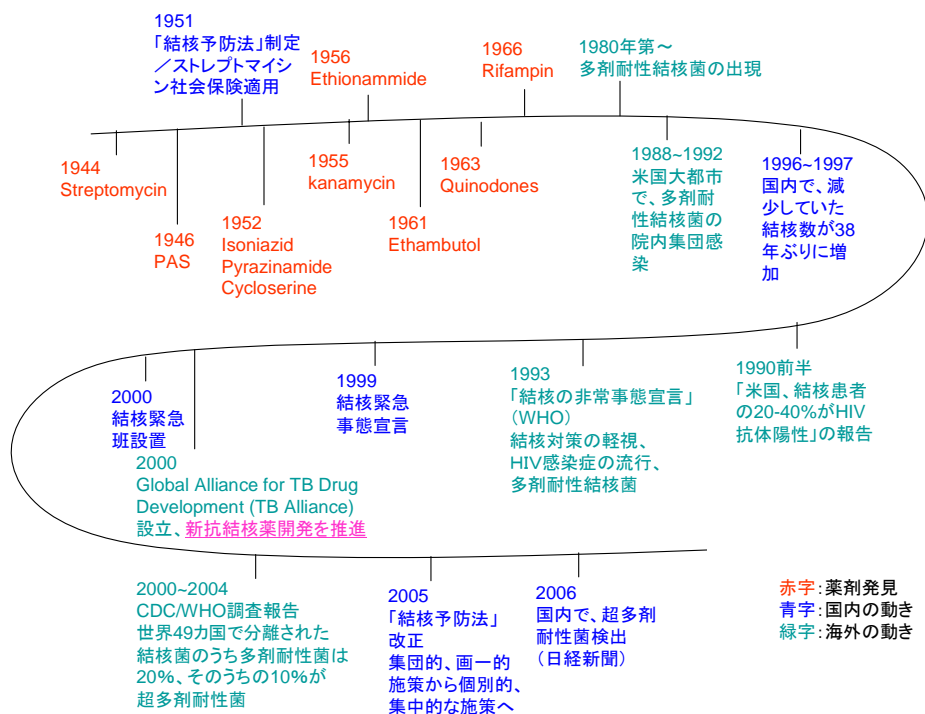
第2-3-11-12図 日本と先進国の結核罹患率(2006)



出典:WHO「Global Tuberculosis Database」を基に(株)三菱総合研究所作成

世界では全結核患者数は1,440万人程度に達し、死亡者は170万人(うち20万人が HIV 抗体陽性、あるいは HIV 感染者である(WHO、結核に関する2008年版報告書))。多剤耐性菌、超多剤耐性菌に対する抗結核薬、またそれらを複合化した治療法が開発されれば、世界の結核治療にも大きな貢献になる。結核に関する国内外の動きを第2-3-11-13図に示す。

第2-3-11-13図 結核に関する国内外の動き



出典: (株)三菱総合研究所作成

(2) 研究開発の経緯

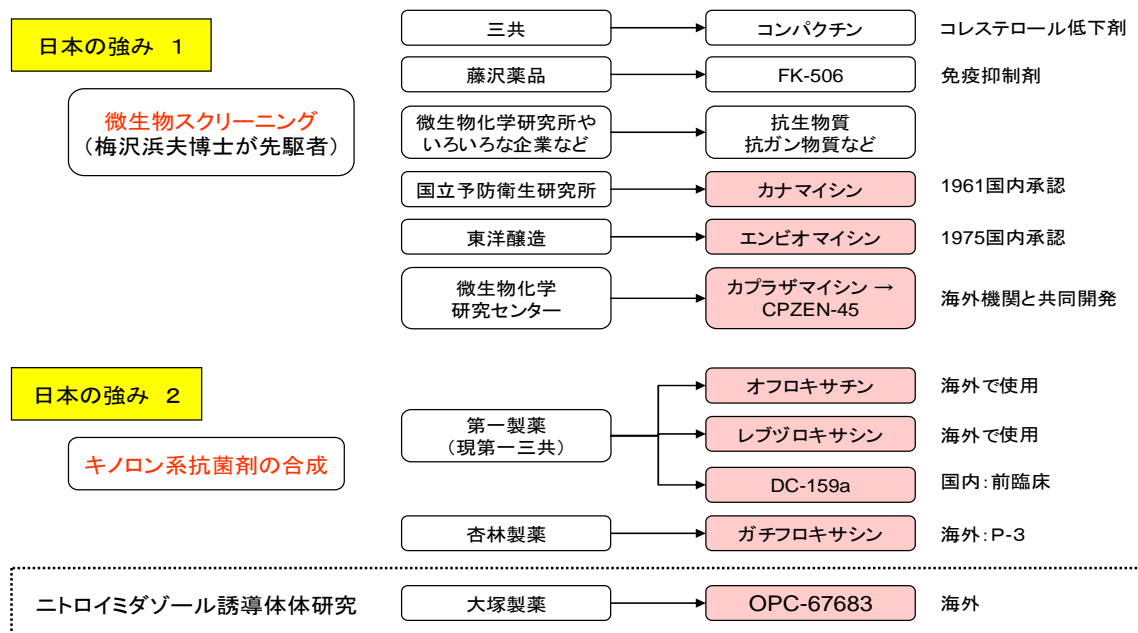
① 抗結核治療薬開発における日本の貢献

抗結核薬カナマイシンは、1955年国立予防衛生研究所の梅沢濱夫によって放線菌培養液より発見された。この発見には他機関も含め多くの研究者が携わったが、この研究が日本の微生物スクリーニングの伝統を生み出した。

その後同じく微生物スクリーニングによって、東洋醸造がエンビオマイシンを発見、その後海外との共同開発に入った薬剤もある。

第一三共のキノロン系抗菌剤も海外で広く使われている。これらに対する耐性菌の出現に対し、新たなキノロン系抗菌剤の開発が進められている。

第2-3-11-14図 日本の抗結核薬開発における研究の位置づけ



出典: (株)三菱総合研究所作成

② 多剤耐性結核、超多剤耐性結核に対する新抗結核薬開発

上述のように、近年、多剤耐性結核菌 (MDR-TB) および超多剤耐性結核菌 (XDR-TB) による結核が問題視されている。これらの治療には2年以上の化学療法が必要で、治癒は必ずしも望めず、致命的でさえある。また単独の薬剤のみでの治療ではなく、複数薬剤の組み合わせによる治療が必要とされる。このような治療を行った場合、治療費も普通の結核の4倍以上に及ぶとされる。

推定によれば2006年に49万人のMDR-TB患者が出現し、これは全患者の4.8%にあたる。そのうち4万人がXDR-TBである。MDR-TBは中国、インド、ロシアに多く、前二者で全世界の半数の患者数とされる^(注)。

MDR-TB、XDR-TB に対する新抗結核薬開発はこの7～8年で長足の進歩を遂げている。

実際、WHO は2007年11月現在、世界では以下のように少なくとも計62以上の研究開発プロジェクトが進行中であることを報告している。

- ・ 基礎研究プロジェクト:9
- ・ 新規化合物探索プロジェクト:32
- ・ 前臨床段階にある新規候補化合物プロジェクト:8
- ・ 臨床試験段階を継続中の新抗結核薬プロジェクト:13

結果として、世界的な課題である MDR-TB、XDR-TB は5～7年以内治療可能な射程距離圏内に捉えることができたという見方がある。

(注) WHO Report : Global tuberculosis control - epidemiology, strategy, financing

(3) 科学技術成果のインパクト

結核予防法施行時から、現在に至るまでに、抗結核薬開発・利用、結核対策推進により、第2-3-11-15表に示されるように画期的な成果が得られている。

第2-3-11-15表 結核予防法施行前後の変化

	施行以前	施行以後
結核死亡数	121,769人、人口10万対146.4人 (1950年)	2,188人、人口10万対1.7人 (2007年)
死因順位	1位(1950年)	27位(2007年)
新規登録結核患者数	590,622人、人口10万対698.4人 (1951年)	25,311人、人口10万対19.8人 (2007年)
結核医療費	国民総医療費の27.7%(1952年)	国民総医療費の0.11%(2006年)

出典：(株)三菱総合研究所作成

結核治療は労働からの長期的離反を余儀なくさせ、死に至る率も高いことから、特に若年者においては国家経済学的に見て非常に損失が大きい。国内の結核罹患率を大幅に低下させたこれまでの結核治療は、その意味で国家に多大な経済的利益をもたらしたといえる。また、当然のことながら、結核の罹患者の低下は、国民一人一人の結核に対する不安を取り除いたことにつながっている。

(4) 政府の果たした役割

① 国内の結核対策の成功

1951年には結核予防法が施行され、政府が中心となって健康診断、予防接種、適正医療の普及を行う結核対策を推進することが明示された。それと同時に、1944年に開発されたストレプトマイシンが、日本でも1949年から製造され、1951年から社会保険適用となり、国産のカナマイシンの開発・利用も含め、結核患者と死亡者の減少、結果としての医療費削減に大きく寄与した。

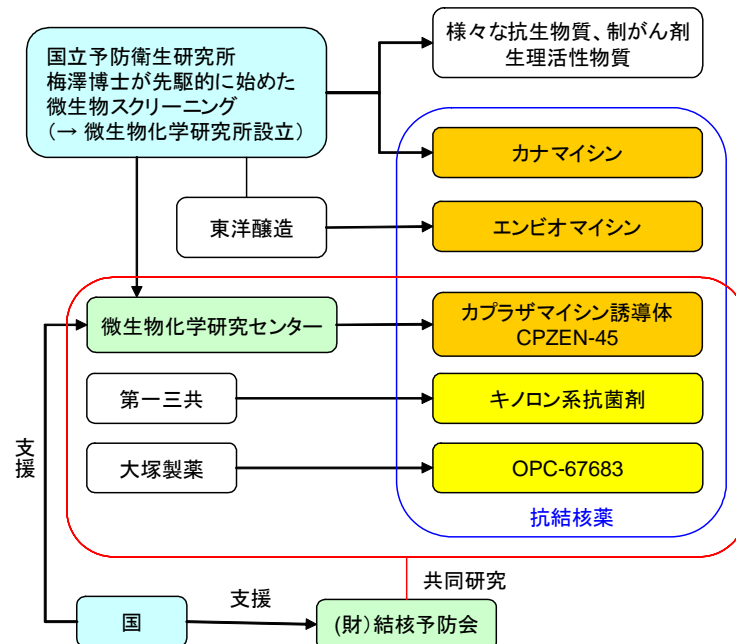
② 抗結核治療薬開発における役割

梅沢浜夫のカナマイシンの発見後、その医薬品化に向けて国の支援をうける(財)微生物化学研究会・微生物化学センターは、超多剤耐性結核菌に有効な新規抗結核薬を創製した。

また同じく国の支援を受ける(財)結核予防会は、国内で開発途上の抗結核薬開発を対象に、その開発・評価研究を行っている。超多剤耐性結核菌に対応する次世代抗結核薬については、“Global Alliance for TB Drug Development (GATB または TB-Alliance)”という国際組織にもとで、世界各国33の研究機関・大学・企業が開発中であるが、日本からは「結核研究所」が唯一のステイクホルダー研究機関として参画している。

結核では複数の薬を組み合わせる治療方法を開発することが必要で、1種類のみを用いる治療では多剤耐性菌が出やすい。異なる企業が開発した2つの薬を同時に服用した場合の効果測定等は企業レベルでは難しく、TB-Alliance や結核研究所のような機関が必要とされている(第2-3-11-16図)。

第2-3-11-16図 抗結核薬開発における国と関係機関の役割



出典：(株)三菱総合研究所作成

第2-3-11-17表 国の支援による抗結核ワクチンの開発

事業名	実施年度	研究者	研究テーマ
厚生科学研究費補助金 新興・再興感染症研究経費	2000～ 2003年度	代表者：国立療養所近畿中央病院 臨床研究センター 岡田全司	「結核菌症の解明に基づく新たな治療等の開発に関する研究：「抗結核キラーTリンパ球・結核殺傷蛋白による病態解明に基づく結核ワクチン（サブユニット・DNA・リコンビナントBCGワクチン）・化学療法剤の開発による新しい治療・予防・診断法」
財団法人静岡総合研究機構学 術教育研究推進事業費補助金	2001年度	浜松医科大学 小出幸夫	結核に対するエピトープ・ワクチンの研究：アルゴリズムとエピトープ・ヒエラルキーに基づく新規ワクチン開発法の確立
文部科学省科学研究費 基盤研究(C)	2003～ 2004年度	浜松医科大学 小出幸夫	肺ホーミング性Th1細胞，CTLを誘導する抗結核抗原DNAワクチンの開発
文部科学省科学研究費 基盤研究(C)	2002～ 2003年度	浜松医科大学 永田年	弱毒ドクリステリアをキャリアとした抗結核菌DNAワクチンの研究

出典：(株)三菱総合研究所作成

第2-3-11-18表 結核予防会／新規抗酸菌治療薬の開発・評価と評価方法に関する研究

	薬剤名	薬剤タイプ	開発企業名
2006年度 事業計画	DX-619他	キノロン耐性多剤耐性結核菌に有効な新世代キノロン系抗菌薬	第一製薬(株)(現第一三共(株))
	CPZEN-45	核酸系抗生物質	(財)微生物化学研究会 微生物化学研究センター
	OPC-67683	Nitroimidazo-oxazole	大塚製薬(株)
2007年度 事業計画	DC-159a	リスピラトリーキノロン	第一製薬(株)(現第一三共(株))
	CPZEN-45	核酸系抗生物質	(財)微生物化学研究会 微生物化学研究センター
	R207910	Diarylquinoline	Johnson & Johnson
	OPC-67683	Nitroimidazo-oxazole	大塚製薬(株)
2008年度 事業計画	DC-159a	リスピラトリーキノロン	第一三共(株)
	TMC-207	Diarylquinoline	Johnson & Johnson
	OPC-67683	Nitroimidazo-oxazole	大塚製薬(株)

注：開発途上の新規抗結核薬が対象

出典：財団法人結核予防会事業計画書を基に(株)三菱総合研究所作成

(5) 今後の展開

2000年にスイス・ジュネーブで設立された結核対策を行う連携機関である「ストップ結核パートナーシップ」では、以下のような具体的目標を掲げている。

- ・ 2015年までに結核有病率、死亡率を1990年より半減させること
- ・ 2050年に制圧(人口百万対1以下)すること

また、今後の抗結核薬、結核治療には以下の点が期待される。

- ・ 治療期間の大幅短縮
- ・ 多剤耐性結核(MDR-TB)、超多剤耐性結核(XDR-TB)の治療
- ・ 結核とエイズの合併症(TB-HIV)治療
- ・ 薬剤耐性菌の発生防止
- ・ 治療完了率の向上
- ・ 社会全体の総医療費の大幅削減

現在、結核治療には6ヶ月かかる。治療機関がこれだけ長いと、貧困地域では薬を継続して飲み続けることは不可能である。日本では、結核の薬を1ヶ月継続して飲みつづけるのは数千円で済むが、貧困地域ではそのためのお金が払えない。そのため、特に「治療期間の大幅短縮」については早急な対策が必要である。

いずれにしても、抗結核薬、結核治療は途上国でのニーズが大きく、営利ベースでの開発とともに、国際的な公衆衛生管理の観点から公的支援の果たす役割は大きいと考えられる。

(6)参考文献

- ・ 土井教生 世界における新しい抗結核薬開発の現状(2007年1月15日)
<http://www.jata.or.jp/rit/rj/project7-2.pdf>
- ・ Global Alliance for TB Drug Development (TB Alliance)
<http://www.tballiance.org/about/mission.php>
- ・ 厚生科学審議会感染症分科会結核部会資料
<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2008/12/dl/s1205-7h.pdf>
- ・ 平成20年度厚生科学研究所 結核菌に関する研究(中間報告)
<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2008/12/dl/s1205-7g.pdf>
- ・ (財)結核予防会 事業計画書
<http://www.mhlw.go.jp/general/seido/hojin/kekkaku05/pdf/09.pdf>
- ・ (財)結核予防会結核研究所への補助金報告書
<http://www.mhlw.go.jp/general/seido/hojin/seido/name/k/4-2hojo1.html>
- ・ (財)結核予防会の研究活動と成果
<http://www.mhlw.go.jp/general/seido/hojin/kekkaku05/pdf/04.pdf>
- ・ (財)結核予防会結核研究所疫学情報センター 2007年結核年報速報
- ・ ストップ結核パートナーシップ日本
<http://www.stoptb.jp/stbj/history.html>

以上、6つの新興・再興感染症について記述した。これらの感染症について相互比較したところ、以下のような特徴的なインパクト、公的支援、及び展開がみられることが浮き彫りになった。

● インパクトに関する特徴

- ・ 診断、検査、スクリーニング技術の開発による早期発見、感染要因の明確化、国内への侵入阻止(ATL、C型肝炎、SARS)
- ・ 医薬品開発による疾病コントロール、患者の寿命延長、より重篤な疾患への移行防止(HIV感染症/AIDS、結核、C型肝炎)
- ・ 画期的な治療法開発による医療費の削減、間接的な経済損失の削減(あるいは、その可能性)(結核、新型インフルエンザ)
- ・ 患者数の多い途上国における治療、予防への貢献(結核、HIV感染症/AIDS)

● 公的支援に関する特徴

- ・ 疾患の定義の明確化、ウイルス発見・同定、疫学調査実施等による疾患の状況、動向把握支援(ATL)
- ・ 診断、検査、スクリーニング技術の開発支援、導入による早期発見、国内への侵入阻止支援(C型肝炎、SARS)
- ・ 医薬品候補物質の発見、開発支援(HIV感染症/AIDS、結核、C型肝炎、SARS、新型インフルエンザ)
- ・ 画期的な新薬、多剤併用療法に対する公的保険の適用(C型肝炎、結核、HIV感染症/AIDS)
- ・ 患者数の多い途上国における治療、予防への貢献支援、国際協力による開発(結核、HIV感染症/AIDS)

● 今後の展開に関する特徴

- ・ 疾患感受性遺伝子の研究等による疾患リスク明確化、個別化医療対応(ATL)
- ・ より早期の発見、感染のための疾患メカニズム解明、診断、検査、スクリーニング技術の開発支援(SARS、新型インフルエンザ)
- ・ 根治を目指した医薬品、多剤併用療法の開発(HIV感染症/AIDS、結核)
- ・ 国内企業の開発力が劣る部分(輸入製品シェアが高い等)での国際競争力強化、開発支援(C型肝炎)
- ・ 患者数の多い途上国における治療、予防への貢献、国際協力による開発の継続(結核、HIV感染症/AIDS)
- ・ 民間企業の開発インセンティブが働きにくい医薬品候補での公的支援(結核、SARS、新型インフルエンザ)

また、各感染症対策に共通する制度、インフラ整備及び国の取組についてまとめる。

● 我が国の感染症対策の基本となる制度

- ・ 感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律(1998年10月2日法律第114号、最終改正2008年6月18日法律第73号)

感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する総合的な施策の推進を図ることを目的として制定された法律である。序文では「医学医療の進歩や衛生水準の著しい向上により、多くの感染症が克服されてきたが、新たな感染症の出現や既知の感染症の再興により、また、国際交流の進展等に伴い、感染症は、新たな形で、今なお人類に脅威を与えている」と書かれており、新興・再興感染症対策の強化が示されている。

● **インフラ整備：国内研究拠点等**

国立感染症研究所（公衆衛生的研究）、国立国際医療センター（臨床的研究）、（独）医薬基盤研究所（基盤研究）、（財）結核予防会結核研究所（結核の研究）、（独）農業・生物系特定産業技術研究機構 動物衛生研究所（応用研究）、その他大学・地方衛生研究所等

● **主な国の取組例**

- ・ 内閣府 科学技術連携施策群 新興・再興感染症 2005年度～2006年度
- ・ 文部科学省 新興・再興感染症研究拠点形成プログラム 2005～2009年度
- ・ 厚生労働省 新興・再興感染症対策の科学的基盤研究 ゲノム時代の感染症研究の充実など継続的プログラム
- ・ 農林水産省 牛海綿状脳症（BSE）及び人獣共通感染症の制圧のための技術開発 2003～2009年度

参考文献

- ・ 総合科学技術会議 安全に資する科学技術推進プロジェクトチーム（第11回）資料11-4 新興・再興感染症の現状（2005年7月26日）

12. 事例 1 2 自然災害の減災システム技術

(1) 事例の背景

我が国は、その位置、地形、地質、気象などの自然的条件から、台風、豪雨、豪雪、洪水、土砂災害、地震、津波、火山噴火などによる災害が発生しやすい国土となっている。

特に、地震については、マグニチュード6.0以上の世界での地震の20.7%を占めるなど、世界有数の地震国となっている(第2-3-12-1図)。自然災害による死者・行方不明者数を見ると、1995年の阪神・淡路大震災では死者・行方不明者は6,000人を超えた他、土砂災害をはじめとした風水害、雪害によるものの比率が高い(第2-3-12-2図)。

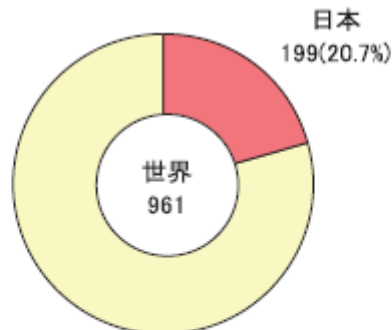
また、風水害に関しては、台風による被害のほか、いわゆるゲリラ豪雨とも言われる短時間に激しく降る大雨の発生回数が増加傾向にあるなど、特に大都市圏における新たな脅威として注目度が増加している(第2-3-12-3図)。

上記のような、自然災害は、それ自体が脅威であるとともに、地震等に起因する火災による被害も甚大であり、限られた消防力で効果的・効率的に火災に対応することが求められる。

以上の観点から、本調査では、主として以下の3つの災害に対する減災システム技術を取り上げることとした。

- 地震観測およびシミュレーション技術
- 気象観測および短時間豪雨等のシミュレーション技術
- 同時多発火災への対応技術

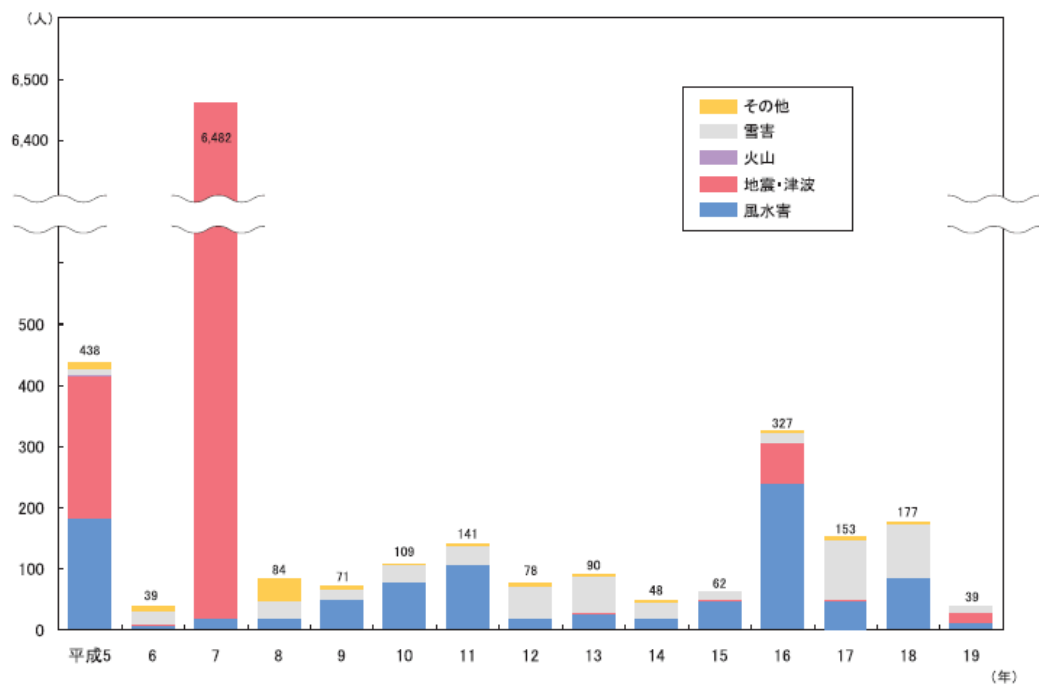
第2-3-12-1図 マグニチュード6.0以上の地震回数



(注) 1998年から2007年の合計。日本については気象庁、世界については米国地質調査所(USGS)の震源資料をもとに内閣府において作成。

出典：内閣府「防災白書」2008年6月

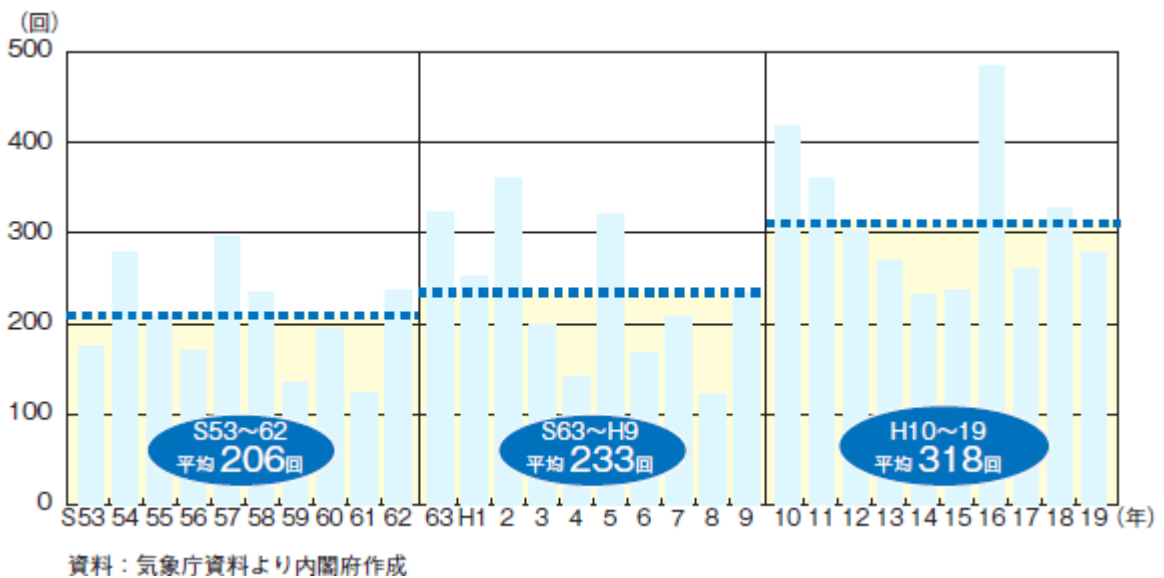
第2-3-12-2図 災害原因別死者・行方不明者



(注) 消防庁資料をもとに内閣府において作成。地震には津波によるものを含む。
 平成7年の死者のうち、阪神・淡路大震災の死者については、いわゆる関連死912名を含む。
 平成19年の死者・行方不明者数は速報値。
 内訳は附属資料1のとおり。

出典：内閣府「防災白書」2008年6月

第2-3-12-3図 1時間降水量50mm以上の降水の発生回数



出典：内閣府「防災白書」2008年6月

(2) 研究開発の経緯

①地震観測及びシミュレーション技術

①-1観測網の整備

基盤となる技術として、地震計(強震計)の技術が戦前から民間主体で開発されて来たが、これは当初の加速度計だけのものから、加速度計に加えて速度計を備えたものに改良されている。

現在では、気象庁の保有する約180点の地震観測網に加え、震度観測を行っている気象庁(約620点)、地方公共団体(約3200点)や(独)防災科学技術研究所(約1000点)の震度計をネットワーク化することで、高密度な震度観測網が構築されている(第2-3-12-4表)。

第2-3-12-4表 緊急時の防災情報発表のための地震及び震度観測

観測の種類	機 関	設置数	観測データの活用等
地震観測	気象庁	全国で概ね60kmごとに約180点の地震観測網(津波地震早期検知網)を展開。	地震に関する情報や津波予報の迅速な発表に活用。
震度観測	気象庁	全国で概ね20kmごとに約620点の観測網を展開。	震度5弱以上を観測した場合や地上の通信系に障害が起きた場合には静止気象衛星による伝送ルートをバックアップとして運用するなどして、震度観測データの収集に万全を期している。
	地方公共団体(都道府県等)	市区町村ごとに約3,200点の震度観測点を設置(平成7年度の消防庁補助事業等による)。	うち47都道府県の約2,800点について気象庁が地震情報で震度を取りまとめ発表(平成20年3月現在)。
	独立行政法人防災科学技術研究所	ほぼ日本全国で概ね20kmごとに約1,000観測点を設置(既存観測網を平成15年度から更新したことによる)。	うち約780点について気象庁及び関連する地方公共団体に震度情報を提供(平成20年3月現在)。

出典:内閣府「防災白書」2008年6月

これらの観測データは、関係機関で共有され、地震調査研究推進本部における地震活動の評価等に活用されるとともに、気象庁における地震活動の監視に活用されている。

このネットワーク化にあたっては、1980年代以降のコンピュータ技術の発達を背景とした複数データの高速処理技術および1990年代以降の衛星によるデータ転送技術とデジタル通信技術(パケット等)が活用された。

さらに、文部科学省、気象庁、国土地理院、(独)防災科学技術研究所、国立大学法人等の連携の下、地震・地殻活動の詳細な把握、調査研究のための基盤的観測網も整備されている(第2-3-12-5表)。

第2-3-12-5表 地震・地殻活動の詳細な把握、調査研究のための基盤的観測

観測の種類	設置数等	観測データの活用等
高感度地震計による地震観測	全国で約15～20km ごとに約1,200点（平成19年3月現在）の高感度地震観測網を展開（気象庁、独立行政法人防災科学技術研究所、国立大学法人等）。	微小な地震動を捉える高感度地震計を高密度に配置し、地震の震源や発震機構、地震により活動した断層を把握する。
広帯域地震計による地震観測	全国で約100km ごとに約120点（平成19年3月現在）の広帯域地震観測網を展開（気象庁、独立行政法人防災科学技術研究所、国立大学法人等）。	規模の大きな地震の際に発生する周期の長い地震動を捉える広帯域地震計を配置し、地震の規模と断層の破壊方向を精度よく把握する。
強震動観測	全国に数千箇所整備（国土交通省、気象庁、地方公共団体、独立行政法人防災科学技術研究所等）。	強震動の観測が可能な強震計を設置し、構造物に被害を及ぼすような地震動の強さや周期、継続時間等を把握する。
地殻変動観測（GPS連続観測）	国土地理院は地殻変動の監視のため、全国で約1,200点の電子基準点（GPS）を整備。また、東海地域のプレート運動の詳細な把握のため、当該地域に25点を整備。 また、活断層等の地殻変動を捉えるため、国土地理院、文部科学省、国立大学法人等は全国の主な断層周辺にGPS地殻変動観測施設を整備。	地殻歪みの時間的、空間的変化を広範囲で把握できることから、地震発生に至るまでの過程の解明に資する。

出典：内閣府「防災白書」2008年6月

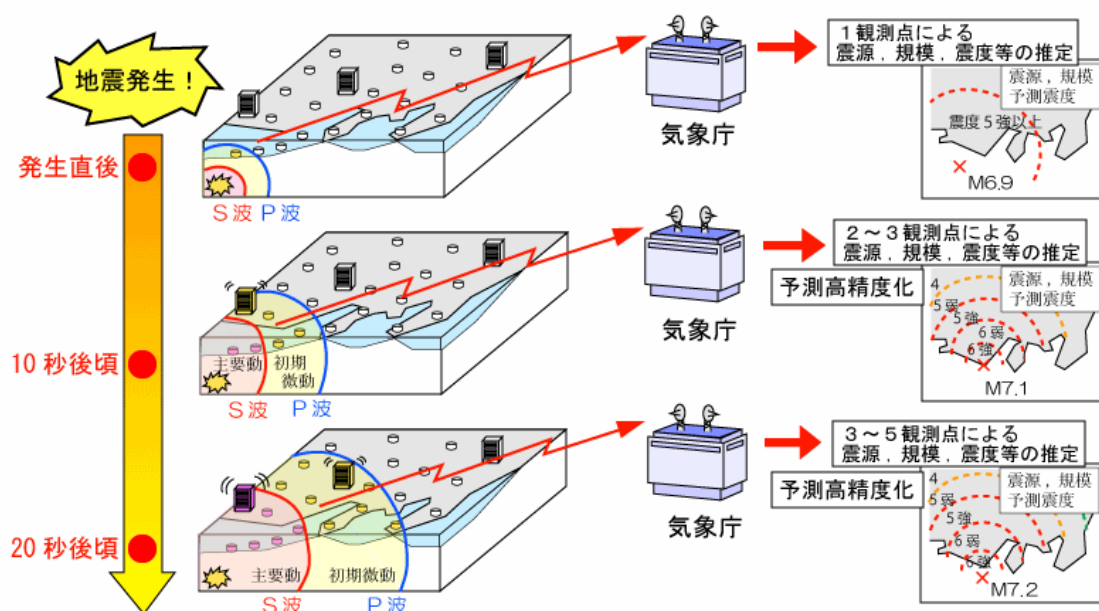
また、表層から地球内部構造に至る地下構造の地球物理学的情報、地質学的情報を統合的に収集・管理し、広くデータ利用可能な仕組みとして「統合化地下構造データベースの構築」がなされている。具体的には、地下構造データを保有する機関は国内に多数存在しており、活断層などの地質情報データベース、ボーリングデータ等による地盤情報データベースなどの基礎データベースが個々に整備されつつある。これら基礎データベースを連携することにより地質情報や地盤情報などが研究に活用可能となった。

①-2モデル・シミュレーション技術

①-1で述べた観測網を用いて、地震災害の原因となるS波の到達前に震源地近くで検知される情報（P波）から、地震情報（地震の規模や位置、各地の震度等）を解析・判断し、都市部等へS波到達の数～数十秒前に伝達する「緊急地震速報」が開発され、2004年より試験運用、2007年10月より本格運用に至っている。このようなシステムや技術は日本が世界をリードしている（第2-3-12-6図）。

また、「全国を概観した地震動予測地図」の改良がなされ、250m メッシュに細分化された全国地震動予測地図の作成が進められている。さらに、全国版の地震動予測地図を特定の地域で詳細化し、地図上で人口分布や移動状況のデータ、道路幅、建物の分布や強度、さらにライフライン（水道、ガスなど）のデータと併せて地震災害シミュレーションに活かすための研究開発が進められている。

第2-3-12-6図 緊急地震速報システムの概念



出典：気象庁ホームページ「緊急地震速報について、緊急地震速報とは」

②気象観測および短時間豪雨等のシミュレーション技術

②-1観測・解析技術

気象に関する観測システムとしては、従来からの地上観測網（気象台、降雨レーダ等）に加え、1974年にはアメダスによる雨量等の自動観測網（全国約1300ヶ所、平均17kmメッシュ）が整備され、これに加え2000年代には国土交通省や自治体等の観測網約2700ヶ所を加えたネットワーク化^{（注）}が進んでいる。また、1977年の気象衛星「ひまわり」による観測開始から、その後極軌道衛星や地球観測衛星を活用した衛星観測の稠密化や海上観測の充実が進んでいる。1990年代以降、ドブラーレーダやウインドプロファイラによる風観測も行われ、観測データの充実が進展している。

現在では、「レーダアメダス解析雨量」（以下、「解析雨量」という。）として1kmメッシュで30分更新の観測データが整備されており、その精度は世界トップレベルとなっている。

一方、解析雨量は、気象レーダと雨量計を組み合わせることで各地の雨量を解析するため、雨量計の観測時間10分という制約が存在し、近年のゲリラ豪雨（局所的大雨）のように、10分以内で被害が生ずるような場合には対応できない。

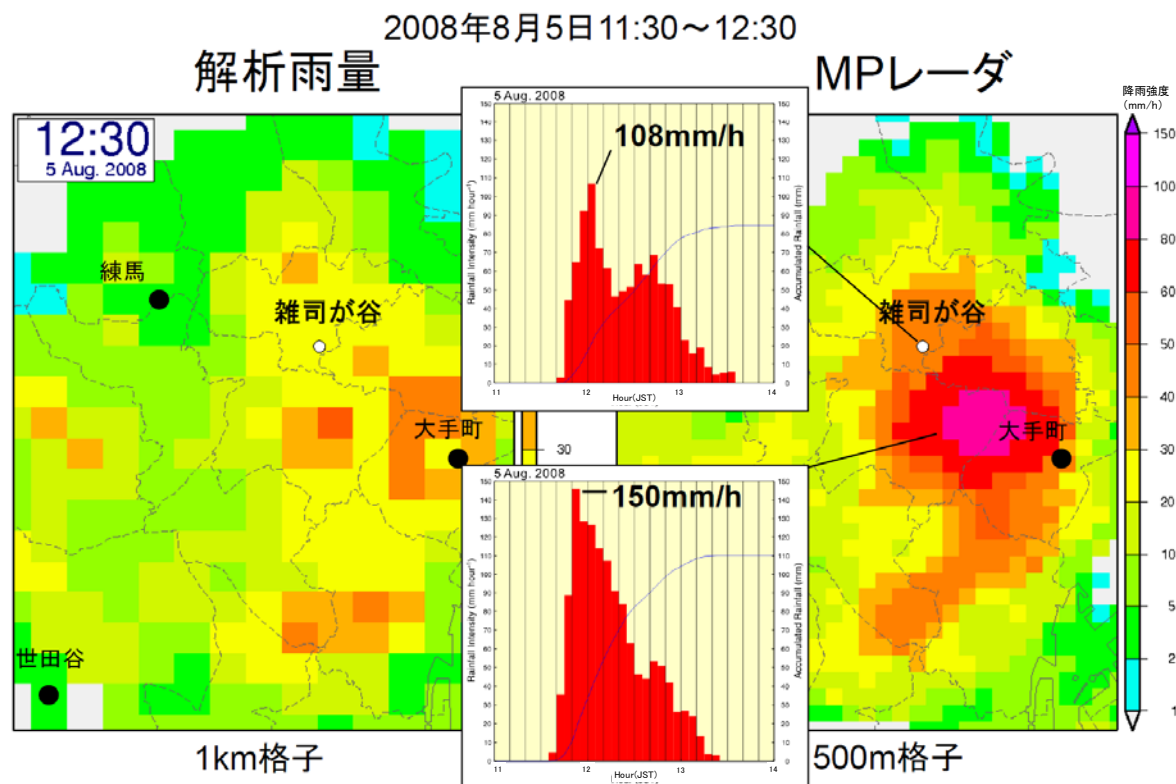
この課題に対処するために、「マルチパラメータ（MP）レーダ」による観測技術に関する研究開発が進められている。MPレーダは、降水粒子タイプや雨粒の個数、風速等の降雨情報が得られるため、雨量計の補正無しでも精度良い降雨量推定が可能となっており、レーダが本来備えている高空間分解能と瞬時性を活かして、500m格子で1分間隔の豪雨の観測・実況が可能となっている。（第2-3-12-7図）

上記の成果をもとに、国土交通省は、局地的な豪雨による水害の発生予測を目的として、三大

（注）雨量の観測に関しては、延べ8,821ヶ所（2008年9月時点）がネットワーク化され、国土交通省防災情報提供センターのウェブサイト、携帯電話やパソコンを使って閲覧することが可能となっている。（<http://www.bosaijoho.go.jp/>）

都市圏等に現業用の MP レーダネットワークを整備し、2010年度から豪雨の実況監視を強化し河川管理に活用するとしている。

第2-3-12-7図 MP レーダ利用による降水観測と従来の解析雨量の比較



(注) 棒グラフはMPレーダによる雨量観測値の推移を示す。上は下水道工事で作業員5名が流される事故が発生した雑司が谷に該当する500m格子のもの、下は最も強い雨が観測された500m格子のもの。

図左上の「12:30」の表示は、11:30～12:30までの1時間の観測値であることを示す。

出典：防災科学技術研究所資料

②-2モデル・シミュレーション技術

②-1に示した気象観測データを用いたコンピュータによる数値予測シミュレーション技術として、気象庁では、1970年代には気候計算のための近似式(静水圧近似)を用いた数値モデル予測が可能になり、その後、スーパーコンピュータ上位機種更新による数値モデルの精密化、近似式改良等により高精度な気象予測が追求されてきた。

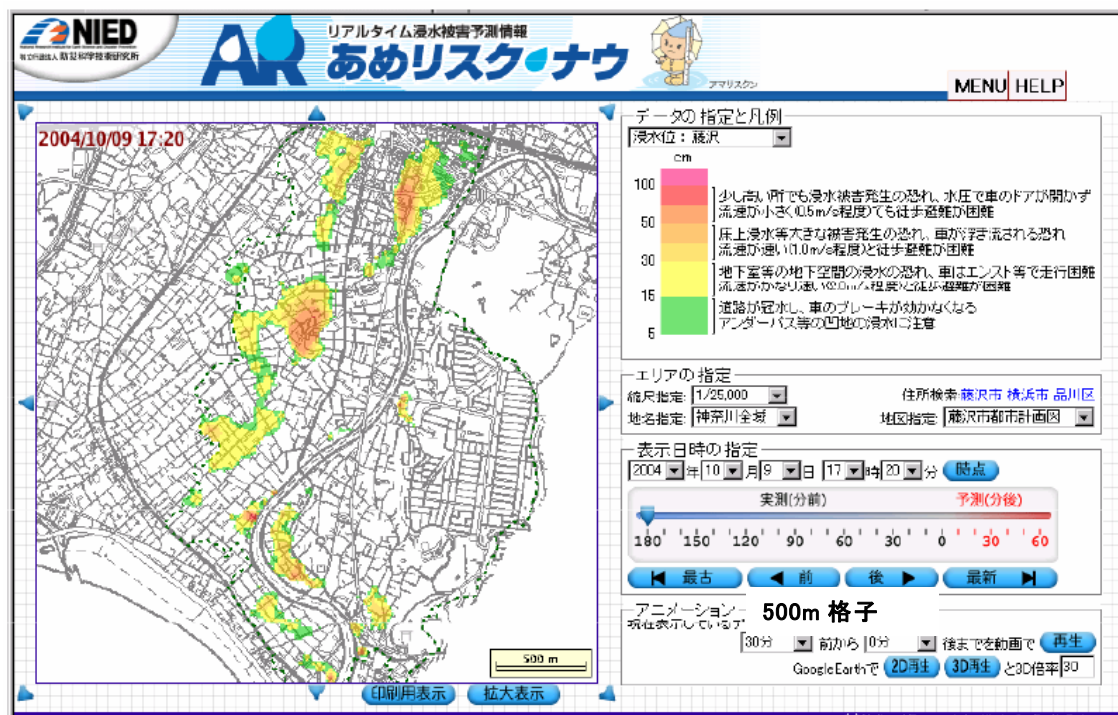
これを生かしたピンポイントでの気象予報や、「降水短時間予報」(5km メッシュでの6時間後までの予測)および「降水ナウキャスト」(1km メッシュでの1時間後までの予測)が可能になっており、精度は世界トップレベルである。

観測データの高度化により、シミュレーション技術も進展しており、データ同化(数値予報モデルが表現する大気に観測データを取り込むこと)等の手法も組み合わせ、豪雨と強風を1時間先まで精緻(500m メッシュ)に予測するリアルタイム降水予測技術が開発されている。さらに、降雨による浸水箇所の予測を目的に、実時間浸水被害危険度予測手法を構築して、「あめリスク・ナウ」(第2-3-12-8図)という形で相互運用型の Web-GIS サーバによる情報提供を試験的に行っている(藤

沢市で、地域住民と協力しての実用化試験が行われている。)また、土砂災害予測支援システムの開発が進められ、MP レーダを用いた広域の危険度予測、現地斜面モニタリングによる斜面変動の監視と崩壊時刻の予測、斜面崩壊後の流下堆積域の予測を組み合わせた、総合的な土砂災害リアルタイム監視システムのプロトタイプが構築されている。

今後、MP レーダを利用した強風や雷の予測や、雨・雪・あられ等の降水粒子判別システムの開発が予定されている。

第2-3-12-8図 リアルタイム浸水被害予測「あめリスク・ナウ」



出典：防災科学技術研究所資料

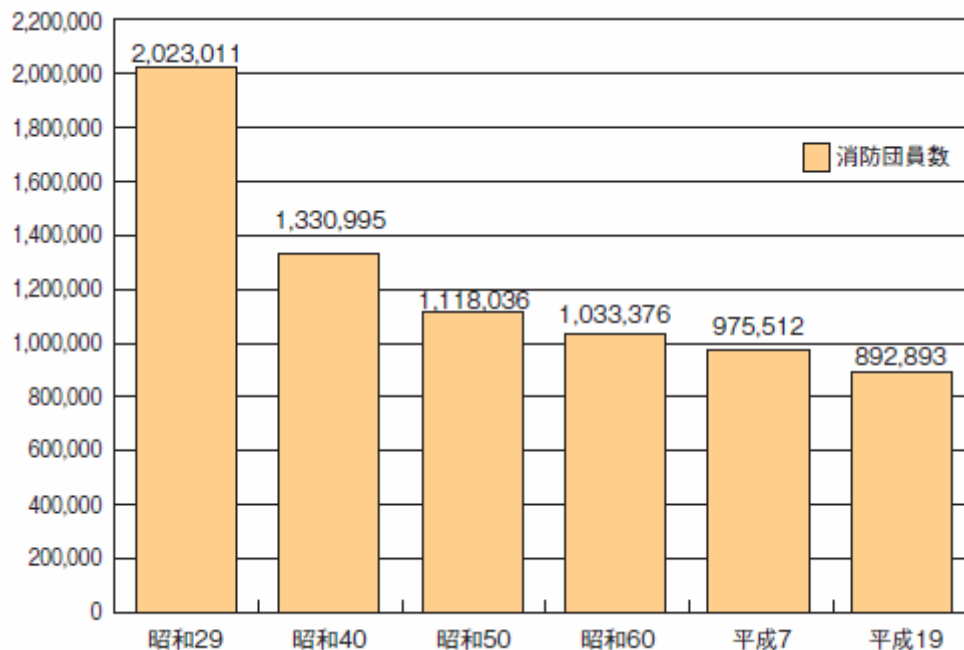
③同時多発火災への対応技術

大規模震災時に、消防機関が行う消火活動や救助活動などの一刻を争う緊急対応活動においては、同時に多発する災害事象に対して現有の限られた消防力(人員、消防車両、消防水利等)を有効に活用して、効率的な活動を展開する必要がある。

例えば、阪神淡路大震災では、消防車が5台配備されていた神戸市の長田消防署管内だけでも同時に13件の火災が発生しており、消防力を上回る火災発生のためにうち11件は1,000㎡以上の火災規模に延焼拡大している。

また、消防署と連携しながら災害時の消火・救助活動等の役割を担う消防団の団員数について見てみると、1954年には200万人以上だったが、その後減少の一途をたどり、2007年には89万人にまで減少しており(第2-3-12-9図)、消防機関の消防力を有効活用する必要性はますます高まっている。

第2-3-12-9図 消防団員数の推移

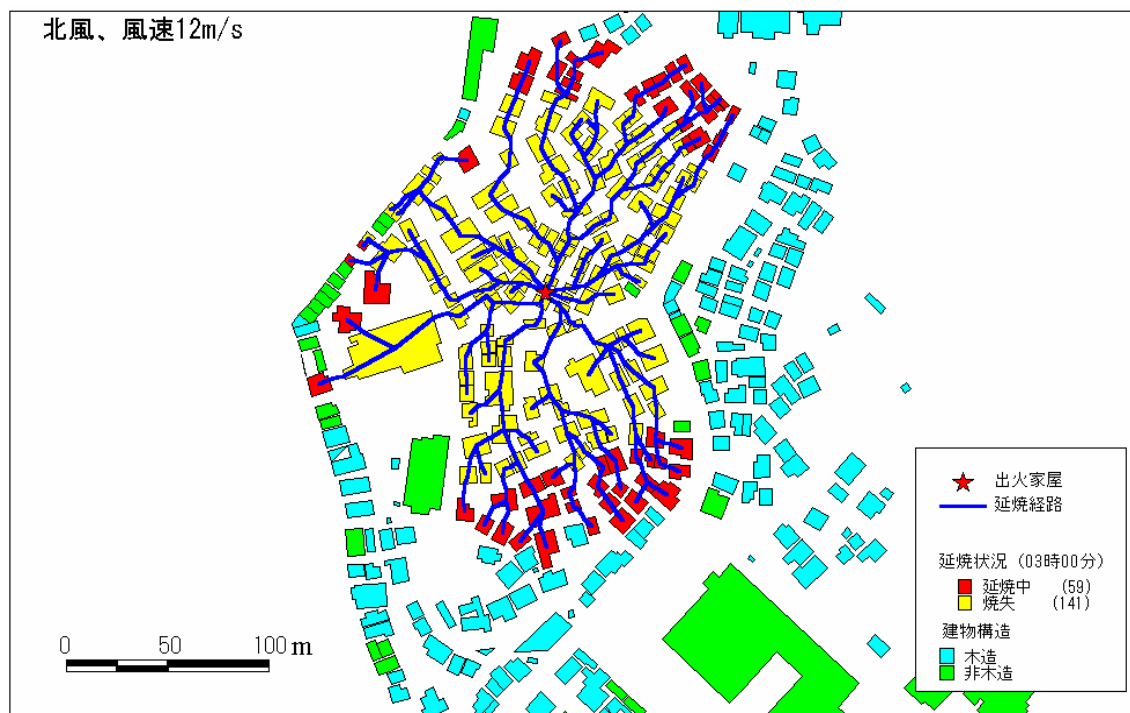


出典：内閣府「防災白書」2008年6月

消防力の有効活用のためには、たとえば消火活動の場合、出火点数や出火位置などの災害情報を迅速かつ正確に把握する必要があることはもちろんだが、これらの災害情報に基づいてリアルタイムに延焼予測を行い、一定時間経過後の延焼状況の予測や、またその延焼予測に基づく消火可否判定あるいは必要消防力などの情報を予め得ることが、消防隊の運用方針や戦略の意思決定にとってきわめて重要な支援情報となる。

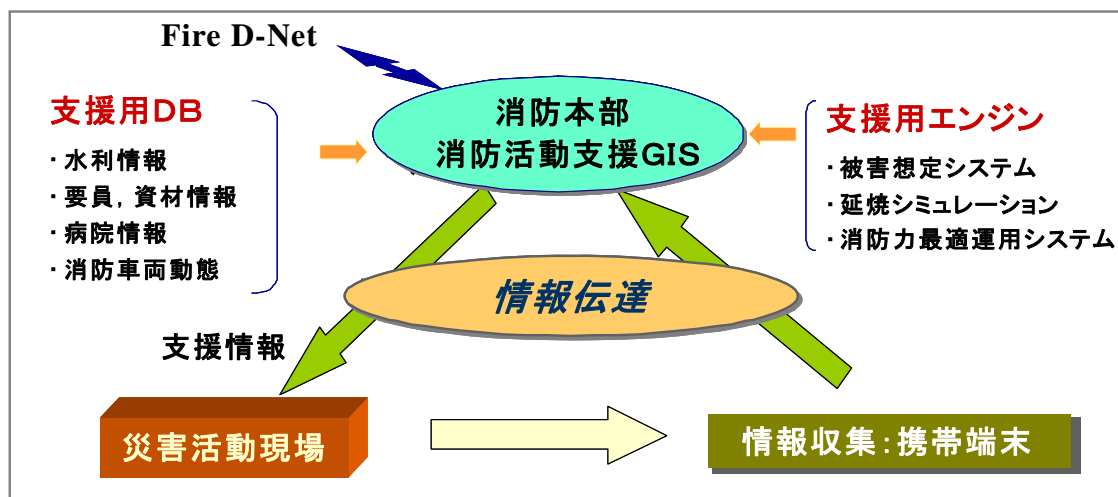
このような背景の下、これまでの延焼シミュレーション技術と地図上の建物情報等を組み合わせることで、地震発生後に消防本部に集約される出火情報を基に、放任火災の場合、あるいはこれに消防力を最適に運用した場合の任意の設定された時刻別の延焼状況をリアルタイムで予測するリアルタイム延焼予測システムが開発されており(第2-3-12-10図)、同システムを含む消防活動支援情報システムの研究開発が進められている(第2-3-12-11図)。現在、約10都市についてこのシステムの試作版を作成しケーススタディを行っており、システムの改良・高度化を経て全国への普及が目指されている。

第2-3-12-10図 リアルタイム延焼予測システムのシミュレーション結果例



出典：(独)消防研究所「消防活動支援システムの開発に関する研究報告書」2003年3月

第2-3-12-11図 消防活動支援情報システムのイメージ



出典：(独)消防研究所「消防活動支援システムの開発に関する研究報告書」2003年3月

リアルタイム延焼予測シミュレーションシステムでは、災害時に情報通信ネットワークの途絶の可能性も考慮して、スタンドアロンのPC上で動作可能なものとしている。具体的には、延焼シミュレーション計算の時間短縮のために、あらかじめ延焼経路データ作成プログラムによって建物データから延焼経路データを作成し、その結果を入力データとして予め格納しておき、地震発生後に得られる風向、風速や出火情報等の条件を入力して延焼シミュレーションプログラムを

稼働させることにより短時間で延焼状況を予測できるようになっている。

(3) 科学技術成果のインパクト

① 経済的インパクト

自然災害の減災システム技術に関しては、以下のような形で経済的インパクトが生まれることが想定される。

- 災害関連情報提供サービス等の進展（民間気象事業者、緊急地震速報等の携帯電話による情報提供サービス等）
 - リアルタイム情報提供に基づく災害回避行動や災害対応活動による経済的被害軽減：具体的には以下の例が期待される。
 - ・ 緊急地震速報を活用して列車やエレベーターを制御することによる危険の回避や工場、オフィス、家庭などで避難行動による被害軽減
 - ・ 降雨速報や強風予測情報を列車の運行判断に活用することによる、事故等による被害軽減
 - ・ 浸水予測情報を排水ポンプの配置など、迅速な水害対策に活用することによる、インフラや国民財産の被害軽減が期待
- 国や自治体、地域による防災計画の策定への貢献を通じた被害額の軽減

このうち、国内で約300億円と言われる民間気象事業者のような災害関連情報提供サービスについては、ある程度定量的に示すことが可能であるが、それ以外のものについては、発生する自然災害がどのようなものであるか、その自然災害に対してどの程度の減災が可能であるかが異なるため、定量的に示すことが極めて困難である。

参考までに、既存の防災対策で見込まれている被害額軽減額を第2-3-12-12表に示す。（但し、これらの被害軽減効果は、本事例の調査対象技術だけでなく、都市やインフラの耐震性強化など、多様な地震防災対策への投資が併せて実施されることにより達成されることに留意が必要である。以下同様。）

第2-3-12-12表 地震防災対策による被害額軽減

	被害想定額	減災目標額	減災の内訳
東海地震	約37兆円	約19兆円	資産喪失約12兆円減、地域外等への波及約3兆円減、生産活動停止約2兆円減、東西幹線交通遮断約2兆円減
東南海・南海地震	約57兆円	約31兆円	資産喪失約19兆円減、地域外等への波及約4兆円減、生産活動停止約3兆円減、東西幹線交通遮断約1兆円減
首都直下地震	約112兆円	約70兆円	復旧費用軽減約26兆円減、生産活動停止約4兆円減、交通寸断約0.7兆円減、全国・海外への経済波及約11兆円減

出典：内閣府「防災白書」2008年6月

②社会・国民生活へのインパクト

自然災害の減災システム技術に関しては、以下のような形で社会・国民生活へのインパクトが生まれることが想定される。

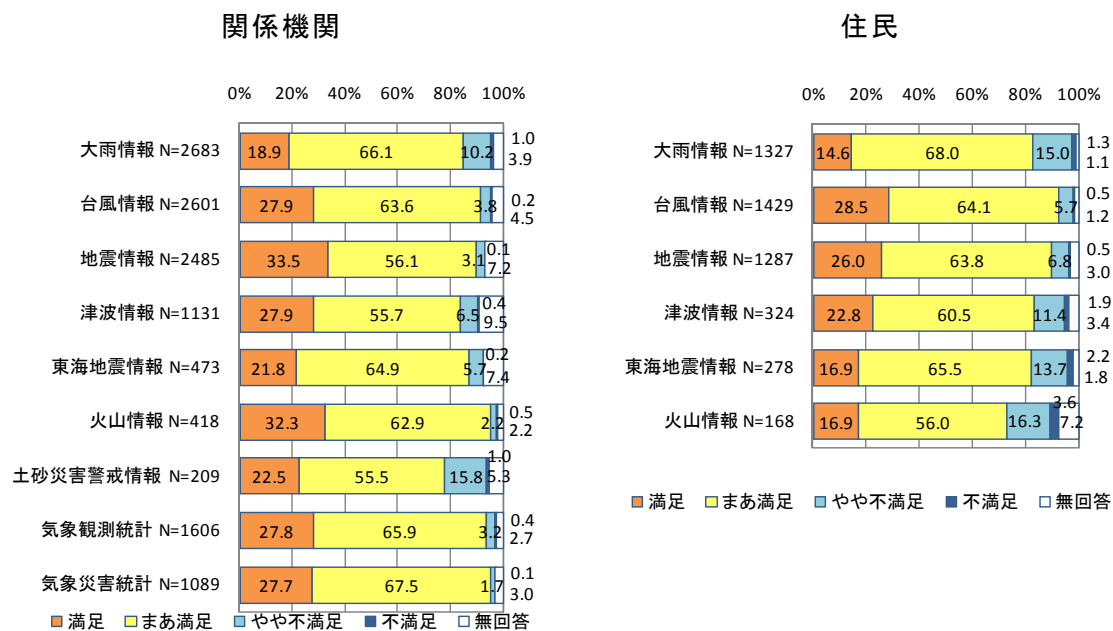
- 迅速な対応行動により、被害を軽減（死者・負傷者、ライフライン）（地震防災対策による人的被害軽減効果については、**第2-3-12-13表**参照）。
- 事前の防災計画に反映されることにより、災害からの復旧時間の短縮。
- 都市や国土の安全性が向上することにより、安心感の高まり、生活が質向上。さらに海外からの来訪者等に対する日本の魅力向上。
 - ・ 気象庁の「防災気象情報の満足度に関する調査」（**第2-3-12-14図**）によれば、防災関係機関（都道府県、市区町村、消防本部、ライフライン、報道）の78～95％が概ね満足（「満足」と「やや満足」の合計）と回答
 - ・ 同様に、住民の73～93％が概ね満足と回答

第2-3-12-13表 地震防災対策による人的被害軽減

	被害想定死者数	死者数減少目標数	減災の内訳
東海地震	約9,200人	約4,500人	住宅等の耐震化約3,500人減、津波避難意識の向上約700人減、住宅の耐震化に伴う出火の減少約300人減、海岸保全施設の整備約100人減、急傾斜地崩壊危険箇所の対策約90人減
東南海・南海地震	約17,800人	約9,100人	住宅等の耐震化約3,700人減、津波避難意識の向上約3,600人減、海岸保全施設の整備約800人減、急傾斜地崩壊危険箇所の対策約300人減、住宅の耐震化に伴う出火の減少約300人減
首都直下地震	約11,000人	約5,600人	住宅・建築物の耐震化、密集市街地の整備、初期消火率の向上

出典：内閣府「防災白書」2008年6月

第2-3-12-14図 防災気象情報の満足度



出典：気象庁「防災気象情報の満足度に関する調査」2007年3月

(4) 政府の果たした役割

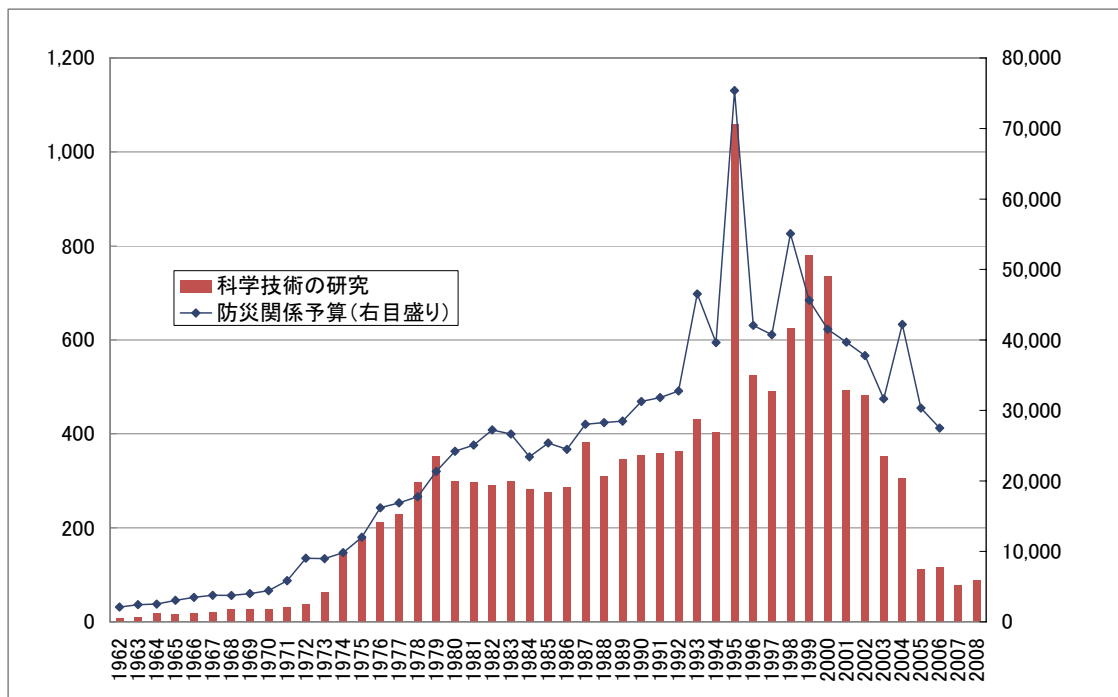
防災関係予算は、阪神・淡路大震災の発生した直後の1995年度の7.5兆円（うち災害復旧等が3.7兆円、科学技術の研究が1,058億円）をピークに、近年やや減少傾向であるが、大きな災害が発生すると災害復旧費等により、大きく膨らむ傾向が見られる。

防災関係予算とその内数である科学技術の研究の予算は、概ね相関が見られるが、2005年以降は大きく減少し、1年間に100億円を切る水準となっている（第2-3-12-15図）。

前述したように研究開発は、国（独立行政法人、国立大学法人を含む）がほぼ一元的に実施しているが、2008（平成20）年度予算で見ると、研究開発費は文部科学省および国土交通省で特に多く、次いで気象庁、総務省、消防庁等が多い（第2-3-12-16図）。

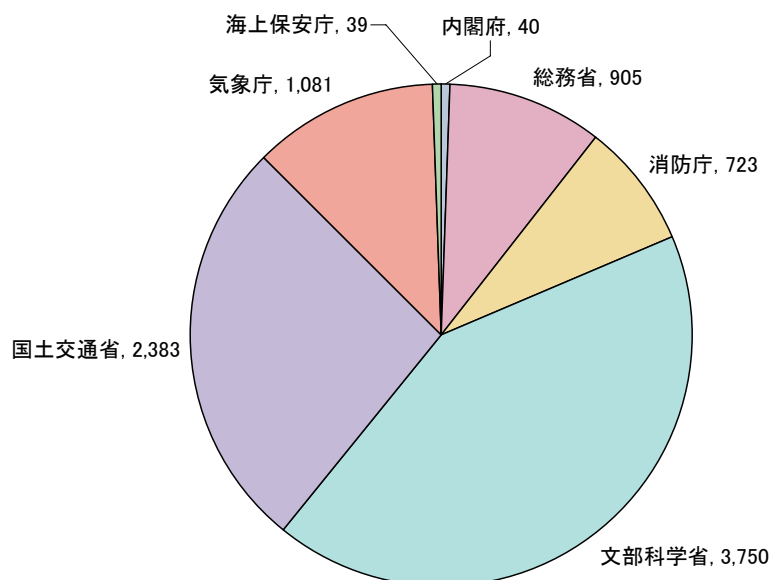
これは、技術の実際の活用の場面でも、国土交通省や気象庁、消防庁等が国の事業として実施しているとともに、防災に関する各種規制・技術基準等も定めるなど、技術のユーザーとしても政府が主体であることを反映していると考えられる。

第2-3-12-15図 防災関係予算(科学技術の研究):単位(億円)



出典:内閣府「防災白書」2008年6月

第2-3-12-16図 2008(平成20)年度防災関係予算(科学技術の研究)の内訳:単位(百万円)



出典:内閣府「防災白書」2008年6月

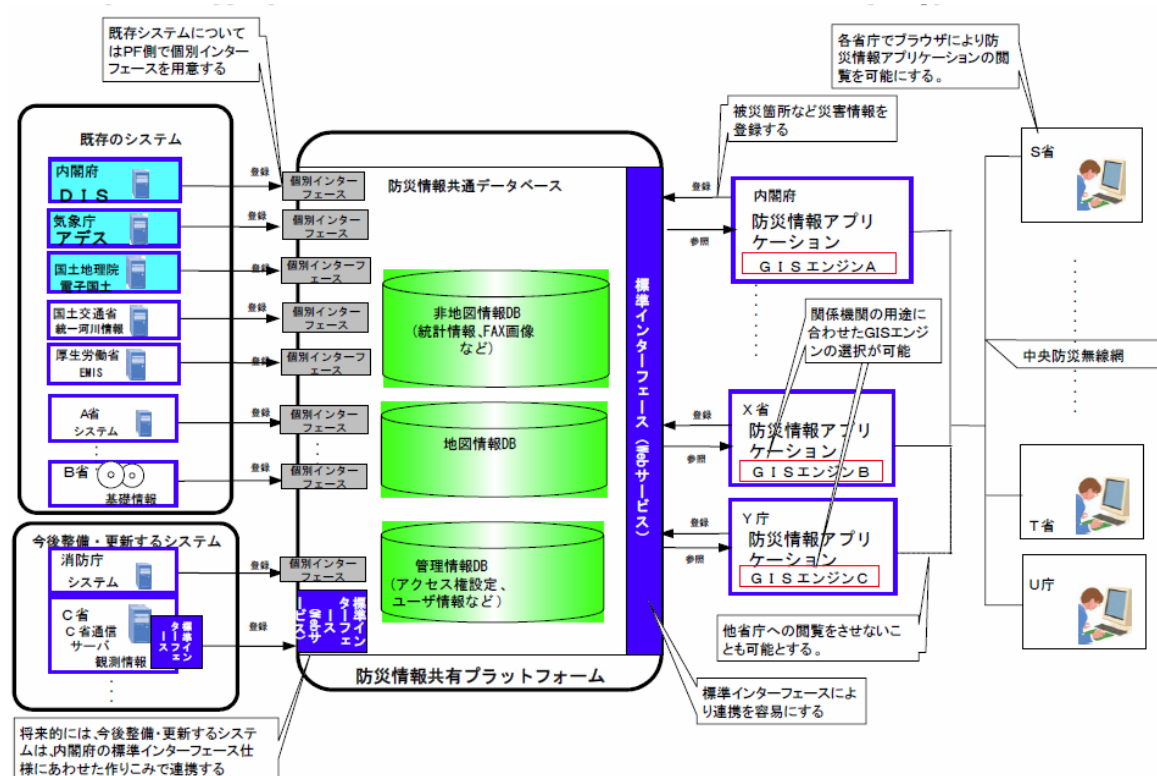
(5) 今後の展開

これまで述べたように、各種災害に関する観測結果やシミュレーション結果は、各々の研究機関や現業部門で公開されている。しかし、利用者にとって見れば、防災・減災に関する情報は、一元的にわかりやすい形で提供されることが望ましい。

上記の背景の下、「防災情報共有プラットフォーム」の構築(第2-3-12-17図)が進められている。具体的には、防災関係機関が横断的に共有すべき防災情報を共通のシステムに集約し、その情報にいずれからもアクセスし、入手することが可能となることを目指している。

防災情報共有プラットフォームでは、地震による被害推計情報、気象情報、河川情報等を取り込み、災害現場における被災情報や各機関の活動情報を同一の地図上の情報として、利用者にわかりやすい形で共有することを可能としている。このような情報の共有の実現により、防災関係機関の情報の集約や伝達に係る労力を省力化するとともに、物資調達、緊急輸送ルート確保、医療搬送、救助などの基幹オペレーションの効率的な実施が可能となり、大規模災害に対する災害対応能力の向上が期待される。

第2-3-12-17図 防災情報共有プラットフォーム



出典:各府省情報化統括責任者(CIO)連絡会議(第16回)「災害管理業務の業務・システム最適化計画の概要」2007年12月28日

また、本当に減災・防災を進めるためには、国や自治体だけの取り組み(公助)ではなく、自助・共助も含めて実施することが求められる(第2-3-12-18図)。

第2-3-12-18図 減災・防災を進めるために必要な三助（自助・共助・公助）



出典：内閣府「防災白書」2008年6月

実際に、各種災害情報提供者は、熱心な自治体や地域コミュニティを巻き込んで、実証実験を行うとともに、2008年度からは、「イノベーション25」における「社会還元加速プロジェクト」の1つとして「きめ細かい災害情報を国民一人ひとりに届けるとともに災害対応に役立つ情報通信システムの構築」に向けた取り組みが進められている。

このような取り組みにより、多くの関係者により防災・減災活動のために災害情報が活用され、さらに、情報活用の結果、災害情報提供システムの開発側に利用ニーズのフィードバックがなされ、これがさらに情報提供の改善・高度化を促進していくという好循環を生み出していくことにより、社会システムとしての減災システムが進展することが期待される。

(6) 参考文献

- ・ 内閣府「防災白書」2008年6月
- ・ 防災科学技術研究所[研究開発課題外部評価(中間評価)「MPレーダを用いた土砂災害・風水害の発生予測に関する研究」]
- ・ 同上「マルチパラメータレーダを用いた土砂・風水害の発生予測に関する研究」2009年2月26日
- ・ 同上「(サブテーマ1)次世代豪雨強風監視システムと高精度降水短時間予測技術の開発」
- ・ 同上「(サブテーマ2)実時間浸水被害危険度予測の実用化」
- ・ 同上「(サブテーマ3)降雨による土砂災害発生予測技術の高度化」
- ・ 気象庁緊急地震速報評価・改善検討会(第1回)資料-1「緊急地震速報の仕組み等について」:
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/Meeting_HYOUKA/01/shiryoku_1.pdf
- ・ 気象庁「緊急地震速報について」ホームページ:
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/Whats_EEW.html
- ・ 藤原広行「統合化地下構造データベースの構築」:
<http://scfdb.tokyo.jst.go.jp/pdf/20061650/2007/200616502007pp.pdf>
- ・ 「全国を概観した地震動予測地図」:

- http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar_yosokuchizu/index.htm
- ・ 国土交通省「ハザードマップ・ポータルサイト」ホームページ：
<http://www1.gsi.go.jp/geowww/disapotal/NEW/eqhm.html>
 - ・ 関沢愛ら「リアルタイム延焼予測に基づく消防活動支援情報の出力システム」2001年度地域安全学会発表論文
 - ・ 関沢愛ら「最適消防力運用に資する消防活動支援情報の出力について」2002年度地域安全学会発表論文
 - ・ 関沢愛ら「同時多発火災に対する初動時の最適消防力運用効果の評価」2003年度地域安全学会発表論文
 - ・ 関沢愛ら「消防力最適運用支援システムを用いた市街地の地震火災リスク評価」
 - ・ 消防研究センター資料「同時多発火災に対する消防力最適運用支援情報システム」2008年2月18日
 - ・ 関沢愛ら「同時多発火災に対する最適消防力運用とその効果に関する研究」
 - ・ (独)消防研究所「消防活動支援システムの開発に関する研究報告書」2003年3月
 - ・ 臼田裕一郎「防災・減災のための情報通信システムの相互運用」科学技術動向、No.83、2008年2月
http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt083j/0802_03_featurearticles/0802fa02/200802_fa02.html
 - ・ 文部科学省「災害リスク情報プラットフォーム」：
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/08091205/005/005/001.pdf
 - ・ 気象庁「防災気象情報の満足度に関する調査 報告書」2007年3月：
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/hyouka/manzokudo/18manzokudo/18manzokudo_houkoku.pdf
 - ・ 総合科学技術会議第67回配布資料1-1「社会還元加速プロジェクトについて」2007年5月18日：<http://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihu67/siryo1-1-2.pdf>
<http://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihu67/siryo1-1-2.pdf>
 - ・ 中小河川における水難事故防止策検討WG（第1回：2008年9月8日）資料6：
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/tyusyokasen_WG/index.html
 - ・ 中小河川における水難事故防止策検討WG（第3回：2008年12月1日）資料2：
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/tyusyokasen_WG/index.html

第4章 近年の顕著な成果12事例に対する政府の支援

1. 各事例の進展に貢献した政府支援

近年の顕著な成果12事例の進展に対して有効であった政府の支援内容の傾向を把握するために、第3章で説明した各事例紹介の中から政府支援に関連する記述を抜粋し、その概要を以下に列挙した。なお、第3章で記述した政府支援内容は、前述の通り、主に聞き取り調査によって得られた情報の中から各事例の成果進展に対して役立った内容に特化して調査したものであり、あらゆる公的支援項目を網羅しているものではない。

(1). 事例1 iPS細胞の創出

- ・ 文部科学省、厚生労働省、経済産業省による iPS 細胞関連研究への積極的な公的投資により、基礎研究・応用研究医療応用に向けた研究が進んでいる。
- ・ 文部科学省の専門委員会は ES 細胞を使った研究への規制緩和を合意(2009 年 3 月 17 日)。今後の幹細胞研究推進が期待される。
- ・ 内閣府の知的財産推進計画により、iPS 細胞事業化加速の支援体制が構築されつつある。
- ・ 文部科学省による「ヒト iPS 細胞等研究拠点整備事業」に、京都大学、慶應義塾大学、東京大学、(独)理化学研究所の 4 拠点が選定され、iPS 細胞に関する基礎研究、応用研究が各研究拠点ネットワークを構築する形で開始された。
- ・ 内閣府、文部科学省、厚生労働省、経済産業省が創設した「先端医療開発特区」により、iPS 細胞の応用研究が展開されている。
- ・ 文部科学省世界トップレベル研究拠点プログラムで採択された京都大学の物質-細胞統合システム拠点に iPS 細胞研究を推進する組織が設置され(CiRA、H20 年 1 月)、iPS 細胞研究の中核研究拠点として研究活動を開始。
- ・ 文部科学省による再生医療の実現化プロジェクトによって、細胞誘導の技術講習会、培養トレーニングプログラムが実施。

(2). 事例2 脳科学の展開

- ・ 研究開発資金を提供し、数々の研究開発成果を創出した(年間 300 億円程度)。
- ・ 研究開発拠点を整備し、国が主体となって研究を進めた;(独)理化学研究所 脳科学総合研究センター(BSI)の設立(1997 年)とその後の運営維持・活用(年間 100 億円予算規模)。
- ・ 研究開発戦略を明示し、日本全体として総合的に研究を推進させた。
- ・ 左記 BSI において、500 名規模の研究者・スタッフの確保(約 80 名が外国国籍)。

(3). 事例3 地球と宇宙の探査・観測技術

- ・ 独立行政法人宇宙航空研究開発機構を発足させ、それまで各機関個別に保有していた技術の統合効果によって、基礎研究から開発・利用に至るまで一組織として一貫して行える体制が整備された。
- ・ 小惑星探査機「はやぶさ」、月周回衛星「かぐや」等による世界トップレベルの科学成果の創出。小惑星、月、地球の出の詳細画像等による国民の科学技術に対する関心の喚起。

- ・ 独立行政法人宇宙航空研究開発機構に対して、基礎研究から開発・利用に至るまで一元化された予算を充てている。

(4). 事例 4 X線自由電子レーザーと大型放射光施設

- ・ SPring-8 の建設費用(1,100 億円)。
- ・ XFEL のプロジェクト推進費:375 億円(2006～2010 年度)。
- ・ JASRI による産業利用促進策(コーディネーター制度導入、産業利用に特化したビームラインの設置、産業利用推進室の設置)。
- ・ 大型放射光施設の設立
- ・ 「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」の制定による施設利用の促進。
- ・ 第 3 期科学技術基本計画において、XFEL を国家基幹技術として位置付けた。

(5). 事例 5 次世代蓄電システム(自動車用・自然エネルギー用)

- ・ NEDO のプロジェクトを主体とした研究支援を実施してきた。
- ・ 「電気自動車等導入費補助制度」により、2007 年度までの 10 年間に約 328 億円(電気自動車が約 12 億円、ハイブリッドカーが約 316 億円)を補助金として助成。
- ・ 高性能蓄電池の開発は国の重点施策として「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」が S ランクの評価。2030 年には電気自動車の航続距離を約 500km、コストを現在の約 1/40 を目標。事業規模は 210 億円を予定。
- ・ JAEA が保有する中性子計測手法が、民間企業の電極用材料開発にも適用されるなど、国が保有する設備・技術による支援が始まっている。

(6). 事例 6 希少金属回収技術

- ・ 希少金属回収技術開発(2007～2010 年度)の支援。
- ・ 家電リサイクル法と資源有効利用促進法。
- ・ エコタウン事業(環境調和型のまちづくりのモデル事業)の支援。
- ・ 使用済小型家電製品等の収集モデル事業の支援。
- ・ 総合科学技術会議にて策定した「革新的技術戦略」に「希少資源対策技術」と明記。
- ・ 府省庁横断シンポジウム開催によるメッセージ発信。

(7). 事例 7 次世代画像表示技術(有機 EL)

- ・ NEDO プロジェクトの開始により、技術開発が加速されるとともに産学官連携の体制が強化され、有機ディスプレイ委員会や有機 EL 検討会などが発足した。
- ・ 上記の活動により浮上した、実用化のための共通基盤技術を開発すべく、民間企業 11 社による共同プロジェクトが開始された。
- ・ 九州大学や山形大学などが画期的な研究成果を出し、そこで企業との共同研究を実施。知識やノウハウが伝承された。

(8). 事例 8 ユビキタス社会を支えるメモリと高速無線通信ネットワーク

- ・ 半導体はすそ野が広い産業だが、メモリでは基礎・応用の両面から研究をサポートし、業

界を広く支援した。

- ・ 無線は多数の方式があるが、実使用にフォーカスした研究を進めた。
- ・ 通信に使われる周波数の有効利用は大事である。周波数割り当てを行い、有効利用に貢献した。
- ・ グローバル市場のみならず、国内市場でも世界標準化は必須である。通信では、標準化作業も支援するなど、環境整備にも尽力した。
- ・ メモリでは研究組合を作り、多数のメーカー参加として協働の体制を作り人的交流を進めた。
- ・ 無線通信では産学協同のプロジェクトを後押しし、即効性を求めた。
- ・ ユビキタス社会へ誘導するために、e-Japan や u-Japan 政策を打ち出し、戦略の見える化を図った。

(9). 事例 9 動脈硬化予防・治療法(高脂血症治療薬)

- ・ 文部科学省の科学技術研究費補助金により、モナコリンの発見に係る研究が進んだ。
- ・ 厚生労働省の大規模臨床試験によって、安全・効果的な治療のための臨床データが蓄積された。
- ・ 国内の若手研究者の参画により、メバロチンの治験・臨床試験が進んだ。

(10). 事例 10 放射線によるがん治療技術(重粒子線治療)

- ・ 「第1次対がん10か年総合戦略」によって、医用重粒子線がん治療装置(HIMAC)が開発された。
- ・ 「第2～3次対がん10か年総合戦略」によって、臨床試験が実施された。
- ・ 厚生労働省による重粒子線がん治療の「高度先進医療」承認によって、研究から医療への移行が促進された。
- ・ 「第3次対がん10か年総合戦略」によって、普及小型化のための要素技術が確立した。
- ・ 文部科学省によって、群馬大学医学部に普及小型実証機第1号が建設中。
- ・ 放医研のHIMACを中心として、医学、生物学、物理学、工学など多分野の人材を融合し、病院、研究設備を集中整備するとともに、外部に開かれた共同研究を促進することによって、プロジェクトを推進している。
- ・ 次世代照射システム開発等、継続的に世界先端の研究開発を計画し実行中。
- ・ 文部科学省による「粒子線がん治療に係わる人材育成プロジェクト」によって、普及に必要な関連人材の育成が実施中。
- ・ 国による「第1～3次対がん10か年総合戦略」によって、各計画の策定、実行、国民への理解が促進。

(11). 事例 11 新興・再興感染症の制御技術(検知・予防・診断・治療)

- ・ SARS: 科学技術振興調整費によって、の診断法が迅速に開発され、国内への侵入を未然に防いだ。
- ・ 新型インフルエンザ: 厚労省、文科省を中心として基礎研究が進められるとともに、科学技術振興調整費によってプロトタイプ・ワクチンの生産基盤整備のための研究が進んだ。

- ・ HIV 感染症/AIDS:厚労省の研究支援により、新薬剤・治療法と評価法・診断法が開発、「死に至る病」から発症進行のコントロールが可能な疾患へと変化、死亡者は激減。
- ・ HTLV-1 感染症/ATL:厚労省・文科省の研究支援により、短期間で疫学、病理、病因研究と診断や予防のための応用研究が推進。
- ・ 感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律などの制定によって、検疫やサーベイランス体制が整備され、感染症全般の拡大を防いだ。
- ・ C 型肝炎:厚労省により、インターフェロン等の薬剤利用に対する保険適用の拡大が行われたことで、治療枠が拡大。
- ・ 結核:結核予防法(2007 年 4 月 1 日、感染症法に統合)により、国が中心となって健康診断、予防接種、適正医療の普及を行う結核対策を推進。
- ・ 日本発の研究成果を基にして、世界で最初に承認された AIDS 治療薬 AZT、以後 4 つの医薬品が開発。
- ・ C 型肝炎の治療薬、インターフェロンの事業化は、日本企業のバイオ医薬品開発における先駆的役割を担い、その後医薬品開発における基盤技術確立、開発・事業化体制の確立といった面に貢献。
- ・ 文部科学省の新興・再興感染症研究拠点プログラムにより、海外 8 カ国との研究拠点が構築され、研究が推進された。
- ・ 結核:“Global Alliance for TB Drug Development (GATB または TB-Alliance)”に参画し、治療薬開発に係る国際協力体制を構築。
- ・ 感染症全般:文部科学省の新興・再興感染症研究拠点プログラムにより、海外 8 カ国との研究拠点が構築され、人材の育成と確保がなされた。
- ・ 新型インフルエンザ「新型インフルエンザ対策行動計画」(2005 年)、「新型インフルエンザガイドライン(フェーズ 4 以降)」(2007 年)が策定、省庁横断的な対策が推進。

(12). 事例 12 自然災害の減災システム技術

- ・ 気象業務法に基づく予報業務許可制度による、民間気象会社(予報業務許可事業者)の気象・波浪・地震動等の災害関連情報提供サービスは国内市場規模、約300億円。
- ・ わが国の災害対策は、災害対策基本法を始とする関係法律によって推進されている。
- ・ 独立行政法人の研究所や国立大学等が主に国の資金により研究開発を推進している。
- ・ 独立行政法人の防災科学技術研究所では、業務方法書により、研究者及び技術者の養成及び資質の向上を図る事を定めている。
- ・ 気象庁の行った「防災気象情報の満足度に関する調査」では、防災関係機関や住民の約7割～9割がおおむね満足と回答。
- ・ 関係組織に対して、基礎研究から開発・利用に至るまで一元化された予算を充てている。

2. 政府支援の有効性

次に、前項で列挙した政府支援の有効性を分析するために、第 2-4-1 表に示した、(1)成果の方向性に関する支援、(2)成果実現の確実性とスピードに関する支援、および(3)成果の革新性に関する支援、という三つの基本的な考え方とこれに基づく具体的な支援因子を事例の進展に大きく作用する政府支援因子と定義し、これを使って政府支援内容をあらためて分類・整理した。さらに第 2-4-2 表に示した視点で整理した政府支援内容の有効性を評価することによって、各事例において役立った政府支援の傾向をより鮮明にすることを試みた。その結果を第 2-4-3 表と第 2-4-4 表に示す。

第 2-4-1 表 「事例の進展に作用する政府支援因子」の分類

政府支援因子の考え方	具体的な支援因子
(1) 方向性を明示し、 成果を牽引・後押しする支援	・将来戦略の立案・策定
	・国民への理解促進
(2) 実現の確実性を高め、 成果の社会還元を早める支援	・研究開発への資金投資、プロジェクト遂行
	・社会制度の策定・整備（法規制、社会基盤）
	・市場・産業の創造・拡大援助（知財強化、初期市場形成補助）
(3) 成果の革新性を高め、 社会・経済・国民生活への インパクトを拡大する支援	・最先端な連携拠点の形成・活用・維持
	・人材の育成・確保・創造

第 2-4-2 表 「政府支援の有効性」の評価基準

評 価	定 義
特に有効	この支援が無かったら、成果の達成は無かった（今後達成しない）であろう。
有効	この支援が無かったら、成果の達成が遅れた（今後遅れる）であろう

第 2-4-3 表 各事例において特に有効であった政府支援の一覧（事例1～6）

政府支援の有効性: 特に有効:◎ …この支援が無かったら、成果は達成しなかった(今後達成しない)であろう
有効:○ …この支援が無かったら、成果の達成が遅れた(今後遅れる)であろう

大政策目標	事例名	特に有効であった政府の支援					
		(1) 方向性を明示し、 成果を牽引・後押し する支援	(2) 実現の確実性を高め、成果の社会還元を早める支援			(3) 成果の革新性を高め、 社会・経済・国民生活への インパクトを拡大する支援	
		・将来戦略の 立案・策定 ・国民への理解促進	・研究開発への 資金投資 ・プロジェクト遂行	・社会制度の 策定・整備 (法規制、社会基盤)	・市場・産業の 創造・拡大援助 (知財強化、初期 市場形成補助)	・最先端な 連携拠点の 形成・活用・維持	・人材の 育成・確保・創造
〈目標1〉 飛躍知の 発見・発明	【事例1】 iPS細胞の創出		◎ ・文部科学省、厚生労働省、経済産業省によるiPS細胞関連研究への積極的な公的投資により、基礎研究・応用研究医療応用に向けた研究が進んでいる	○ ・文部科学省の専門委員会はES細胞を使った研究への規制緩和を合意(2009年3月17日)。今後の幹細胞研究推進が期待される。	・内閣府の知的財産推進計画により、iPS細胞事業化加速の支援体制が構築されつつある	◎ ・文部科学省による「ヒトiPS細胞等研究拠点整備事業」に4拠点が選定され、拠点ネットワークを構築する形で研究が開始された。 ・4府省により「先端医療開発特区」を創設 京都大学の物質・細胞統合システム拠点にiPS細胞研究を推進する組織が設置(CiRA、H20年1月)	・文部科学省による再生医療の実現化プロジェクトによって、細胞誘導の技術講習会、培養トレーニングプログラムが実施
	【事例2】 脳科学の展開	◎ ・研究開発戦略を明示し、日本全体として総合的に研究を推進させた	◎ ・研究開発資金を提供し、数々の研究開発成果を創出した(年間300億円程度)			◎ ・研究開発拠点を整備し、国が主体となって研究を進めた(独)理化学研究所 脳科学総合研究センター(BSI)の設立(1997年)とその後の運営維持・活用(年間100億円予算規模)	○ ・左記BSIにおいて、500名規模の研究者・スタッフの確保(約80名が外国国籍)
〈目標2〉 科学技術の 限界突破	【事例3】 地球と宇宙の 探査・観測	○ ・小惑星探査機「はやぶさ」、月周回衛星「かぐや」等による世界トップレベルの科学成果の創出。小惑星、月、地球の出の詳細画像等による国民の科学技術に対する関心の喚起	◎ ・独立行政法人宇宙航空研究開発機構に対して、基礎研究から開発・利用に至るまで一元化された予算を充てている。			◎ ・独立行政法人宇宙航空研究開発機構が発足し、各機関が持つ技術のシナジー効果を発揮し、基礎研究から開発・利用に至るまで一貫して行える体制が整備された	
	【事例4】 X線自由電子 レーザーと 大型放射光施設	・第3期科学技術基本計画において、XFELを国家基幹技術として位置付け	◎ ・XFELのプロジェクト推進費:375億円(2006～2010年度)		○ ・JASRIによる産業利用促進策 -コーディネーター制度導入 -産業利用に特化したビームラインの設置 -産業利用推進室の設置	◎ ・SPRING-8建設費用(1,100億円) ・「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」	・JASRIによるトライアルユース制度導入
〈目標3〉 環境と経済 の両立	【事例5】 次世代蓄電 システム (自動車用・自然 エネルギー用)	◎ ・高性能蓄電池の開発は国の重点施策として「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」がSランクの評価。2030年には電気自動車の航続距離を約500km、コストを現在の約1/40を目標。事業規模は210億円を予定。	○ ・NEDOのプロジェクトを主体とした研究支援		◎ ・「電気自動車等導入費補助制度」により、2007年度までの10年間に約328億円(電気自動車が約12億円、ハイブリッドカーが約316億円)を補助金として助成。	○ ・JAEAが保有する中性子計測手法の活用により、電極用材料の開発支援に適用が始まった。	
	【事例6】 希少金属 回収技術	○ ・総合科学技術会議にて策定した「革新的技術戦略」に「希少資源対策技術」と明記 ・府省庁横断シンポジウム開催によるメッセージ発信	◎ ・希少金属回収技術開発(2007～2010年度)の支援	・家電リサイクル法と資源有効利用促進法		○ ・エコタウン事業(環境調和型のまちづくりのモデル事業)の支援 ・使用済小型家電製品等の収集モデル事業の支援	

第 2-4-4 表 各事例において特に有効であった政府支援の一覧（事例 7～12）

政府支援の有効性: 特に有効:◎ …この支援が無かったら、成果は達成しなかった(今後達成しない)であろう
有効:○ …この支援が無かったら、成果の達成が遅れた(今後遅れる)であろう

大政策目標	事例名	特に有効であった政府の支援					
		(1) 方向性を明示し、 成果を牽引・後押し する支援	(2) 実現の確実性を高め、成果の社会還元を早める支援			(3) 成果の革新性を高め、 社会・経済・国民生活への インパクトを拡大する支援	
		・将来戦略の 立案・策定 ・国民への理解促進	・研究開発への 資金投資 ・プロジェクト遂行	・社会制度の 策定・整備 (法規制、社会基盤)	・市場・産業の 創造・拡大援助 (知財強化、初期 市場形成補助)	・最先端な 連携拠点の 形成・活用・維持	・人材の 育成・確保・創造
＜目標4＞ イノベーション 日本	【事例7】 次世代画像 表示技術 (有機EL)		◎ ・NEDOプロジェクトの開始 により、技術開発が加速さ れるとともに産学官連携の 体制が強化され、有機EL ディスプレイ委員会や有機EL 検討会などが発足した		・左記の活動により浮 上した、実用化のため の共通基盤技術を開 発すべく、民間企業 11社による共同プロ ジェクトが開始された		◎ ・九州大学や山形大 学などが画期的な研 究成果を出し、そこ で企業との共同研究 を実施。知識やノウ ハウが伝承された
	【事例8】 ユビキタス社会 を支えるメモリと 高速無線通信 ネットワーク	◎ ・ユビキタス社会へ誘 導するために、e- Japanやu-Japan政策 を打ち出し、戦略の見 える化を図った。	○ ・メモリでは基礎・応用の両 面から研究をサポートし、 業界を広く支援した。 ・無線では、実用に フォーカスした研究を進め た。	○ ・通信に使われる周 波数の割り当てを行 い、有効利用に貢献 した。	○ ・世界標準を見据えた 標準化作業を支援す るなど、環境整備にも 尽力。	○ ・メモリでは研究組合 を作り、多数のメー カー参加として協働の 体制を作り人的交流 を進めた。 ・無線通信は産学協 同のプロジェクトにし、 即効性を求めた。	
＜目標5＞ 生涯 はつらつ 生活	【事例9】 動脈硬化 予防・治療法 (高脂血症 治療薬)		・文部科学省の科学技術 研究費補助金により、モナ コリンの発見に係る研究が 進んだ	○ ・厚生労働省の大規 模臨床試験によって、 安全・効果的な治療 のための臨床データ が蓄積された	文部科学省の研究費 補助と厚生労働省の 大規模臨床試験によ る、製品化の加速		○ ・国内の若手研究者 の参画により、メバ ロチンの治療・臨床試 験が進んだ
	【事例10】 放射線による がん治療技術 (重粒子線治療)	○ ・国による「第1～3次 対がん10か年総合 戦略」によって、各計 画の策定、実行、国 民への理解が促進	◎ ・「第1次対がん10か年総 合戦略」によって、医用重 粒子線がん治療装置 (HIMAC)が開発 ・「第2～3次対がん10か 年総合戦略」によって、臨 床試験が実施	◎ ・厚生労働省による重 粒子線がん治療の 「高度先進医療」承認 によって、研究から医 療への移行が促進	○ ・「第3次対がん10か 年総合戦略」によっ て、普及小型化のため の要素技術が確立 ・文部科学省によっ て、群馬大学医学部 に普及小型実証機第 1号が建設中	◎ ・放医研のHIMACを 中心として多分野の 人材を融合し、病院、 研究設備を集中整備 ・次世代照射システム 開発等、継続的に世 界先端の研究開発を 計画し実行中	・文部科学省による 「粒子線がん治療に 係る人材育成プロ ジェクト」によって、普 及に必要な関連人材 の育成が実施中
＜目標6＞ 安全が 誇りとなる国	【事例11】 新興・再興 感染症の 制御技術 (検知・予防・ 診断・治療)	○ ・新型インフルエンザ 「新型インフルエンザ 対策行動計画」(2005 年)、「新型インフル エンザガイドライン」 (フェーズ4以降)」 (2007年)が策定、省 庁横断的な対策が推 進	◎ ・SARS:科学技術振興調整 費によって、診断法が迅速 に開発され、国内への侵入 を未然に防いだ ・新型インフルエンザ:厚労 省、文科省を中心として基 礎研究が進められるととも に、科学技術振興調整費 によってプロトタイプ・ワク チンの生産基盤整備のため の研究が進んだ ・HIV感染症/AIDS:厚労省 の研究支援により、新薬 剤・治療法と評価法・診断 法が開発、「死に至る病」か ら発症進行のコントロール が可能な疾患へと変化、死 亡者は激減 ・HTLV-1感染症/ATL:厚 労省・文科省の研究支援 により、短期間で疫学、病 理、病因研究と診断や予防 のための応用研究が推進	◎ ・感染症の予防及び 感染症の患者に対する 医療に関する法律 などの制定によって、 検疫やサーベイラン ス体制が整備され、 感染症全般の拡大を 防いだ ・C型肝炎:厚労省に よる、インターフェロ ン等の薬剤利用に対す る保険適用の拡大が行 われたこと、治療 枠が拡大 ・結核:結核予防法 (2007年4月1日、感染 症法に統合)により、 国が中心となって健 康診断、予防接種、 適正医療の普及を行 う結核対策を推進	○ ・日本発の研究成 果を基にして、世界で最 初に承認されたAIDS 治療薬AZT、以後4つ の医薬品が開発 ・C型肝炎の治療薬、 インターフェロンの事 業化は、日本企業の バイオ医薬品開発に おける先駆的役割を 担い、その後医薬品 開発における基盤技 術確立、開発・事業化 体制の確立といった 面に貢献	○ ・文部科学省の新興・ 再興感染症研究拠点 プログラムにより、海 外8カ国との研究拠 点構築され、研究が 推進された ・結核:“Global Alliance for TB Drug Development (GATB またはTB-Alliance)” に参画し、治療薬開 発に係る国際協力体 制を構築	・感染症全般:文部科 学省の新興・再興感 染症研究拠点プロ グラムにより、海外8 カ国との研究拠点が構 築され、人材の育成と 確保がなされた
	【事例12】 自然災害の 減災システム 技術	○ ・気象庁の行った「防 災気象情報の満足度 に関する調査」では、 防災関係機関や住民 の約7割～9割がお おむね満足と回答	◎ ・関係組織に対して、基礎 研究から開発・利用に至 るまで一元化された予算を充 てている。	◎ ・わが国の災害対策 は、災害対策基本法 を始とする関係法律 によって推進されて いる。	○ ・気象業務法に基づく 予報業務許可制度に よる、民間気象会社 (予報業務許可事業 者)の気象・波浪・地 震動等の災害関連情 報提供サービスは国 内市場規模、約300 億円	◎ ・独立行政法人の研 究所や国立大学等が 主に国の資金により 研究開発を推進して いる	・独立行政法人の防 災科学技術研究所で は、業務方法書によ り、研究者及び技術 者の養成及び資質の 向上を図る事を定め ている

次に第2-4-3表と第2-4-4表でまとめた政府支援の有効性を俯瞰するために、両表内で示した「政府支援の有効性」に該当する色区分のみ抜粋して表示した(第2-4-5表)。その結果、以下の傾向のあることが分かった。

第2-4-5表 各事例において有効であった政府支援の傾向

		政府支援の有効性:					
		特に有効:◎					
		有効:○					
大政策目標	事例名	有効であった政府の支援					
		(1) 方向性を明示し、成果を牽引・後押しする支援	(2) 実現の確実性を高め、成果の社会還元を早める支援			(3) 成果の革新性を高め、社会・経済・国民生活へのインパクトを拡大する支援	
		・将来戦略の立案・策定 ・国民への理解促進	・研究開発への資金投資 ・プロジェクト遂行	・社会制度の策定・整備 (法規制、社会基盤)	・市場・産業の創造・拡大援助 (知財強化、初期市場形成補助)	・最先端な連携拠点の形成・活用・維持	・人材の育成・確保・創造
〈目標1〉 飛躍知の 発見・ 発明	【事例1】 iPS細胞の創出		◎	○		◎	
	【事例2】 脳科学の展開	◎	◎			◎	○
〈目標2〉 科学 技術の 限界 突破	【事例3】 地球と宇宙の探査・観測	○	◎			◎	
	【事例4】 X線自由電子レーザーと 大型放射光施設		◎		○	◎	
〈目標3〉 環境と 経済の 両立	【事例5】 次世代蓄電システム (自動車用・自然エネルギー用)	◎	○		◎	○	
	【事例6】 希少金属回収技術	○	◎			○	
〈目標4〉 イノベ ーター 日本	【事例7】 次世代画像表示技術 (有機EL)		◎				◎
	【事例8】 ユビキタス社会を支える メモリと高速無線通信ネットワーク	◎	○		○	○	
〈目標5〉 生涯 はつら つ生活	【事例9】 動脈硬化予防・治療法 (高脂血症治療薬)			○			○
	【事例10】 放射線によるがん治療技術 (重粒子線治療)	○	◎	◎	○	◎	
〈目標6〉 安全が 誇りと なる国	【事例11】 新興・再興感染症の制御技術 (検知・予防・診断・治療)	○	◎	◎	○	○	
	【事例12】 自然災害の減災システム技術		◎	◎	○	◎	
「特に有効」◎の該当数		3	9	3	1	6	1
「有効」○の該当数		4	2	2	5	4	2
合計		7	11	5	6	10	3

(1)政府支援の多様性と組合せ効果

- ・一つの政策だけで成果が実現できたという事例は存在せず、3種類～5種類の複数による多様な政府支援の相乗効果によって進展を後押ししている。
- ・その複数の組み合わせ様式は事例によって異なるが、大政策目標5と6の事例では「研究開発への資金投資」と「社会制度の策定・整備」および「最先端な連携拠点の形成・活用・維持」を組み合わせた政府支援が特に有効であるという傾向が強く表れている。
- ・大政策目標3と4の事例では「将来戦略の立案・策定と国民への理解促進」による支援が有効であるという傾向が表れている。

(2)事例全般に有効な政府支援

- ・12事例全体として「特に有効」であった政府支援は「研究開発への資金投資」が12件中9件、次いで「最先端な連携拠点の形成・活用・維持」が6件であった。

- ・「特に有効」と「有効」を合計した数では「研究開発への資金投資」が 12 件中 11 件、「最先端な連携拠点の形成・活用・維持」の政府支援が 10 件であった。

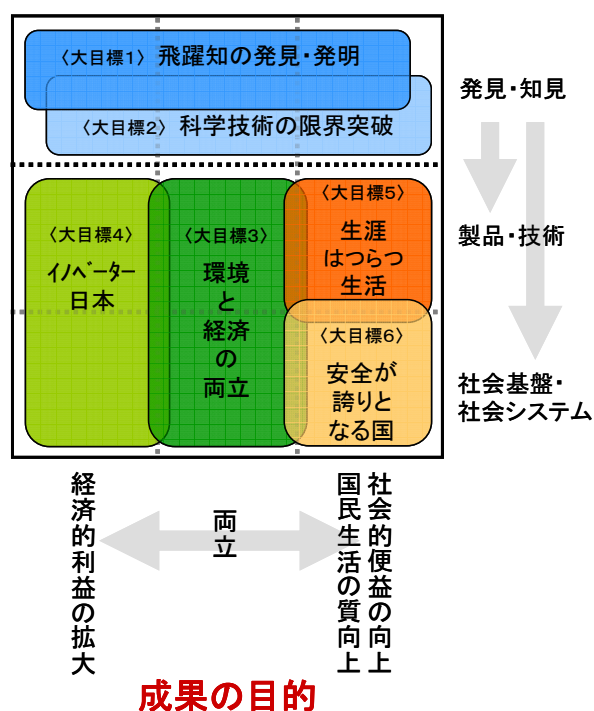
2. 政府支援の合理性

次に本項では、近年の顕著な成果12事例において有効であった政府支援内容の合理性について検討した。

ここでは、近年の顕著な成果12事例において有効であった政府支援内容と、各事例が本来目指しているアウトカム(経済・社会・国民生活に与えるインパクトなど)、研究段階、成果利用段階、専門分野などの多様な要件理解に基づく必然性を比べることによって、政府投資の合理性・妥当性を確認した。そのために科学技術領域の特性を視覚的かつ俯瞰的に理解できるポートフォリオを作成し、各事例の特性や要件を把握することとした。

第 2-4-6 図 科学技術成果ポートフォリオ(科学技術成果の領域と政策目標の関係)

科学技術成果ポートフォリオ



解 説

枠組み

“成果の段階”軸の該当項目

発見・知見による成果が個別の製品・技術へ発展し、さらに社会基盤・社会システムに組み込まれて利活用されるまでの、成果のあらゆる利活用段階が該当する

“成果の目的”軸の該当項目

経済的利益の拡大
市場・雇用の創出、コスト削減、事業継続のリスク削減、国際競争力向上、など

社会的便益の向上
環境・エネルギー・資源問題への貢献、高齢化社会への対応、社会インフラ・防災、など

国民生活の質向上
国民の生命・生活の保全、国民の健康維持・増進、国民生活の利便性・快適性の向上、国民意識、ライフスタイルの変革、など

6つの箱

第3期科学技術基本計画(2006-2010年度)における大政策目標の括り

ポートフォリオの見方

大目標1・2と大目標3～6の間には、大きな違いが存在する。大目標1・2で創られた科学技術成果の利用先は限定的でなく無限の広がりを持っているので、横長の領域となる。一方、大目標3～6で構築された科学技術成果は明確な活用先や社会的位置付けが確立しているので、存在領域はある程度狭くなり、同時にその存在位置が政策目標の特徴を示している。

(1)科学技術成果ポートフォリオ

科学技術の成果領域を示す概念図として、成果の段階と目的の2軸で説明する方法を考え、第2-4-6図を作成した。

縦軸は“成果の段階”で、発見・知見自体が世の中にインパクトを与える段階から、その成果が個別の製品・技術へ発展し、さらに社会基盤・社会システムに組み込まれて利活用されるまでの、あらゆる利活用の段階が該当するものと定義した。横軸は“成果の目的”で、経済的利益の拡大と

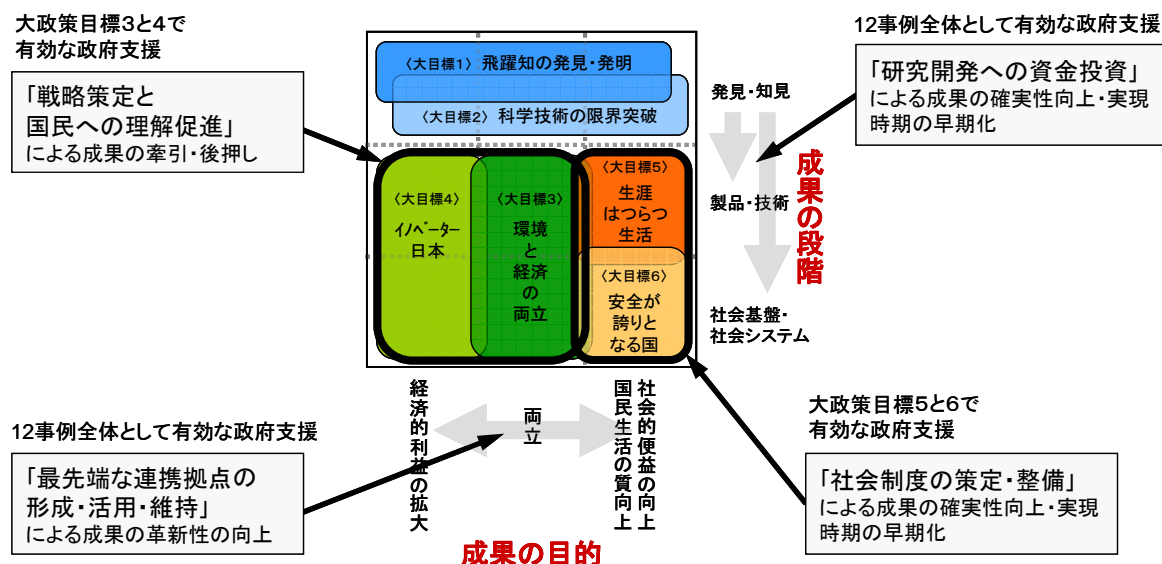
国民生活の質向上・社会的便益の向上を両極に置き、あらゆる成果の主な目的・方向性が該当するものと定義した。例えば、国際競争力向上や市場・雇用の創出などに関する成果は左側に、環境エネルギー問題、高齢化社会、防災、健康維持、ライフスタイル、国際貢献などに関する成果は右側に、両立する成果はその間に位置づけられる。

一方、グラフの中にある6つの箱は、第3期科学技術基本計画における大政策目標の括り(第2-2-2-1 図参照)であり、政策目標体系を基に、上記の縦横軸の考え方を踏まえて配置したものである。政策目標を配置することによって、縦横軸に囲まれた広範な科学技術領域に具体的な目盛りが刻まれるだけでなく、各政策目標が有する科学技術上の特性を理解し易くなる。

(2)科学技術特性の理解による政府支援の意味と妥当性

前項で述べた政府支援の方向性が科学技術上の特性に合致しているか確認するために、それらを科学技術成果ポートフォリオ上にあてはめて記述した(第2-4-7 図)。

第2-4-7 図 科学技術特性と政策支援の関係



①大政策目標5と6

- ・ 大政策目標5と6は、縦軸では「製品・技術」～「社会基盤・社会システム」、横軸では「社会的便益・国民生活の質向上」に囲まれた領域の科学技術特性を有している。
- ・ 横軸の位置を見ると社会規範構築に資する領域にあるので、この政策目標で有効であった政府支援「社会制度の策定・整備」が、基本的に成果実現のために政府の役割として求められている事柄であると言える。
- ・ たとえ民間企業による研究開発であっても、社会還元される場合に社会制度や社会システム上の整合性が問題となるため、この点を政府が迅速かつ的確に支援し、障害を取り払うことは非常に重要である。

②大政策目標3と4

- ・ 大政策目標3と4は、縦軸では「製品・技術」～「社会基盤・社会システム」、横軸では「経済的利益の拡大」～「両立」に囲まれた広範な領域の科学技術特性を有している。

- ・ この領域では、多くの民間企業が経済規範や国際競争に則った研究開発を進めてきたが、最近では、地球温暖化対策や高度情報通信など、社会システムやインフラとの協調性・整合性を考慮した研究開発が不可欠となってきた。
- ・ 特に本事例が目指す低炭素型社会・ユビキタス社会への転換においては、遠い将来の方向性を政府が指し示し、我が国としての達成目標を関係者が共有することは、特に今後は大きな推進力となる。
- ・ このようなことから、この政策目標で有効であった政府支援「将来戦略の立案・策定と国民への理解促進」は、政府の役割として求められている事柄と合致していると言える。

③事例全般に有効な政府支援

- ・ 12事例全体として「特に有効」であった政府支援「研究開発への資金投資」は、科学技術成果ポートフォリオ上では縦軸”成果の段階”を進展させることを意味する。
- ・ 同様に「特に有効」であった政府支援「最先端な連携拠点の形成・活用・維持」は、科学技術成果ポートフォリオ上では横軸”成果の目的”の革新性を高めることを意味する。
- ・ このことから、12事例全体として「特に有効」であった2つの政府支援は、科学技術成果ポートフォリオ上の全域に作用する効率的な方策であると言える。

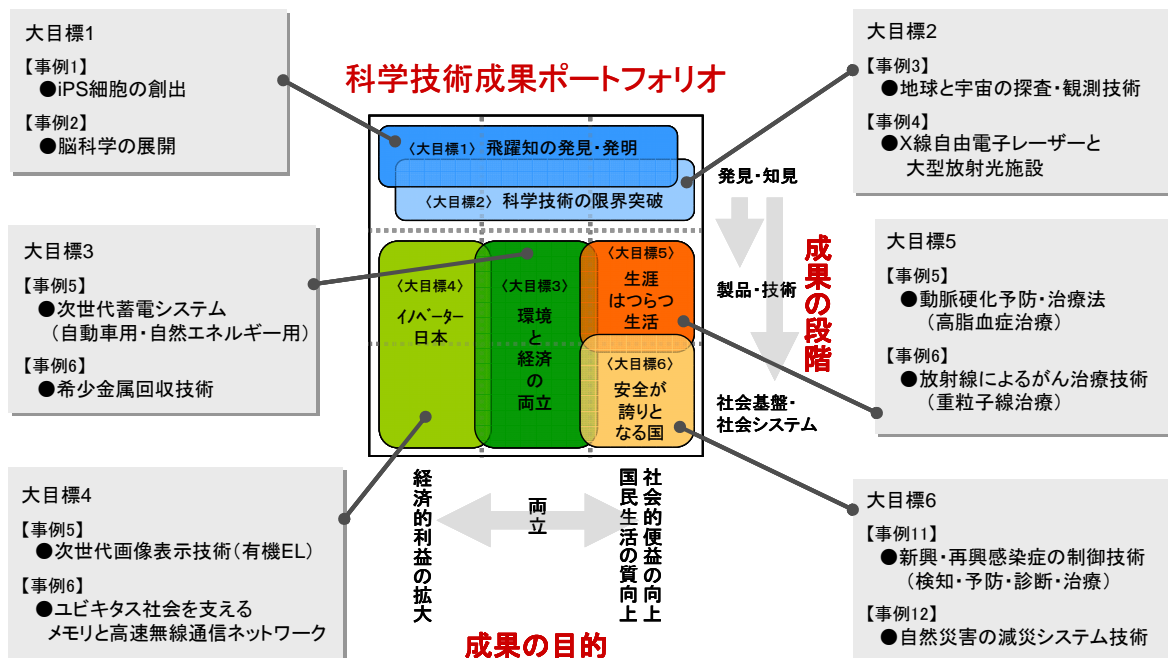
第5章 まとめ

第2部「公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割」では、近年顕著な成果が得られた科学技術事例、あるいは今後大きな期待が見込まれる科学技術事例について調査を実施し、その結果を科学技術に興味のある国民にも分かりやすい形で情報発信することを目指した。成果事例の検討に際しては、本調査が第3期科学技術基本計画をフォローアップするものであることに鑑み、第3期科学技術基本計画で定めた政策目標体系を基にした「成果の意義分類」を定義し、成果を整理する枠組みとして活用した。結果の概要は以下の通りである。

(1)近年の顕著な成果12事例の選定

専門家へのアンケート調査や検討委員会を通して、近年の顕著な12の成果事例を選定した。先ず、科学技術 8 分野に属する専門家へアンケートを行い、第三者による客観的な意見を把握した。アンケートでは、最近顕著な成果が認められる科学技術事例とその成果がもたらす経済・社会・国民生活へのインパクト、および成果実現に寄与した公的支援について質問した。468 人の専門家から、述べ 8768 件(310 種類)の成果が寄せられた。この結果から経済・社会・国民生活へのインパクトが高い成果を順位付けし、事例候補案策定の重要な判断材料とした。検討会と委員会を通じて、大政策目標毎に 2 事例、全体(大政策目標(1)～(6))で以下の12事例を選定した。なお、事例の提示に当たっては、科学技術成果ポートフォリオ(第 2-4-6 図)を用いて、政策目標毎の成果として各事例を位置づけた(第 2-5-1 図)。

第 2-5-1 図 第2部「公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割」で選定した近年の顕著な成果12事例



(2)近年の顕著な成果12事例の進展に貢献した政府支援

選定した成果事例に関する詳細な調査を実施し、各事例が進展してきた経緯や社会・経済・国民生活へのインパクト、および成果の進展を支えた政府投資や支援について分析した。本成果事例に対して特に有効であった政府の支援内容を抜粋して分析することによって、政府支援の役割について傾向を調べた(第 2-5-2 図)。その結果、以下のことが明らかとなった。

①政府支援の多様性と組合せ効果

- ・一つの政策だけで成果が実現できたという事例は存在せず、3種類～5種類の複数による多様な政府支援の相乗効果によって進展を後押ししている。
- ・その複数の組み合わせ様式は事例によって異なるが、大政策目標5と6では「研究開発への資金投資」と「社会制度の策定・整備」および「最先端な連携拠点の形成・活用・維持」を組合わせた政府支援が特に有効であるという傾向が強く表れた。
- ・大政策目標3と4の事例では「将来戦略の立案・策定と国民への理解促進」による支援が有効であるという傾向が表れている。

②事例全般に有効な政府支援

- ・「研究開発への資金投資」と「最先端な連携拠点の形成・活用・維持」の政府支援は、12事例全体を通して有効であった。

第 2-5-2 図 近年の顕著な成果12事例において有効であった政府支援の傾向

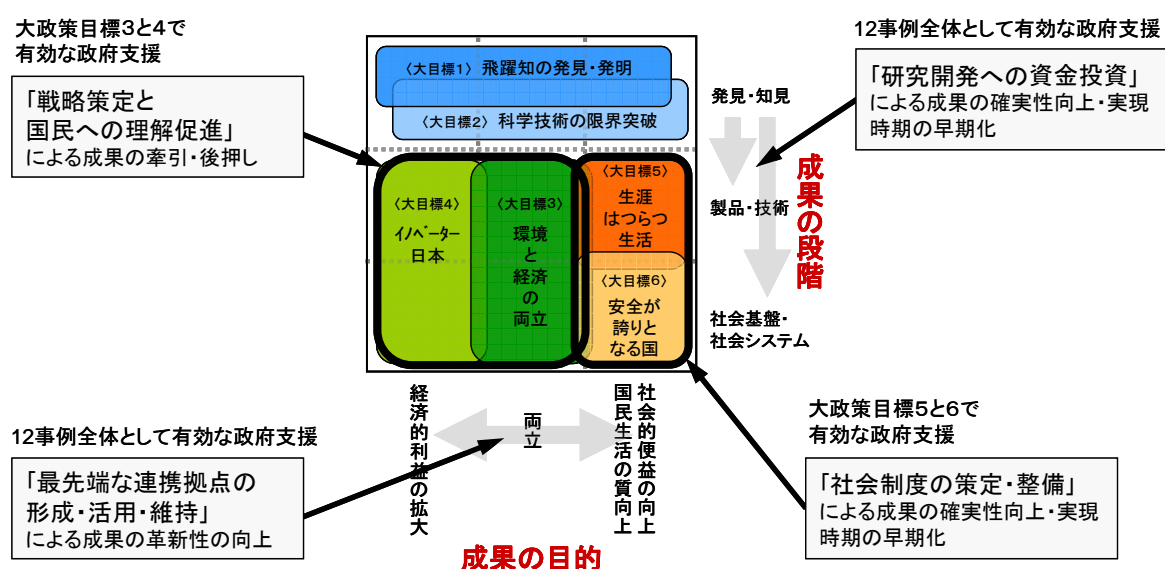
大政策目標	事例名	有効であった政府の支援					
		(1) 方向性を明示し、成果を牽引・後押しする支援		(2) 実現の確実性を高め、成果の社会還元を早める支援		(3) 成果の革新性を高め、社会・経済・国民生活へのインパクトを拡大する支援	
		・将来戦略の立案・策定 ・国民への理解促進	・研究開発への資金投資 ・プロジェクト遂行	・社会制度の策定・整備 (法規制、社会基盤)	・市場・産業の創造・拡大援助 (知財強化、初期市場形成補助)	・最先端な連携拠点の形成・活用・維持	・人材の育成・確保・創造
【目標1】 飛躍知の発見・発明	【事例1】 iPS細胞の創出		◎	○		◎	
	【事例2】 脳科学の展開	◎	◎			◎	○
【目標2】 科学技術の限界突破	【事例3】 地球と宇宙の探査・観測	○	◎			◎	
	【事例4】 X線自由電子レーザーと大型放射光施設		◎		○	◎	
【目標3】 環境と経済の両立	【事例5】 次世代蓄電システム (自動車用・自然エネルギー用)	◎	○		◎	○	
	【事例6】 希少金属回収技術	○	◎			○	
【目標4】 イノベーション日本	【事例7】 次世代画像表示技術 (有機EL)		◎				◎
	【事例8】 ユビキタス社会を支えるメモリと高速無線通信ネットワーク	◎	○		○	○	
【目標5】 生涯はつらつ生活	【事例9】 動脈硬化予防・治療法 (高脂血症治療薬)			○			○
	【事例10】 放射線によるがん治療技術 (重粒子線治療)	○	◎	◎	○	◎	
【目標6】 安全が誇りとなる国	【事例11】 新興・再興感染症の制御技術 (検知・予防・診断・治療)	○	◎	◎	○	○	
	【事例12】 自然災害の減災システム技術		◎	◎	○	◎	

③科学技術の特性から見た支援の妥当性

以上①と②で示した傾向を第2-5-3図の科学技術成果ポートフォリオ上で理解すると、以下のよう
に理に適った支援がなされていることが分かった。

- ・ 大政策目標5と6は社会規範構築に資する領域にあるので、政府支援「社会制度の策定・整備」は基本的に成果実現のために政府の役割として求められている事柄である。
- ・ 大政策目標3と4は、低炭素型社会・ユビキタス社会への転換に向けて将来の方向性・達成目標を関係者が共有することが不可欠であるので、政府支援「将来戦略の立案・策定と国民への理解促進」は政府の役割として求められている事柄と言える。
- ・ 12事例全体として「特に有効」であった政府支援「研究開発への資金投資」と「最先端な連携拠点の形成・活用・維持」は、科学技術成果ポートフォリオ上では各々縦軸”成果の段階”と横軸”成果の目的”に該当するので、科学技術成果ポートフォリオ上の全域に作用する効率的な方策であると言える。

第2-5-3図 科学技術特性と政策支援の関係



成果の情報発信

なお、本調査結果を科学技術に興味のある国民にも分かりやすい形で情報発信するために、近年の顕著な成果12事例の調査結果の概要を事例集「政府投資が支えた近年の科学技術成果事例集」としてまとめ、別途公表する。

付属資料

第1部 大学・研究機関の多様な成果（アンケート表）

大学・研究機関の多様な成果（アンケート表 1/8）

（株）三菱総合研究所

今年度、文部科学省 科学技術政策研究所（NISTEP）では、総合科学技術会議からの依頼による、第3期科学技術基本計画の中間フォローアップ調査の一環として、「政府投資が生み出した科学技術成果の調査」を実施しております。（株）三菱総合研究所はNISTEPから委託を受け、標記アンケート調査により、『科学技術が社会・経済・国民生活にインパクトをもたらしているか』、『公的な研究開発投資が、どの程度寄与しているか』について分析することにより、今後の総合科学技術会議における科学技術政策の議論に資する知見を提供することを目的としています。

本アンケート調査では、皆様の機関において、第2期及び第3期基本計画（平成13年～平成20年現在まで）の間の顕著な成果（大きな進展）、あるいは今後5年程度で期待される顕著な成果（大きな進展）についての情報をお寄せいただきたく、お願い申し上げます。ご回答に際しては、特に成果の名称や成果の具体的内容の記述について、第三者が見ても分かるようにできるだけ分かり易くご記入いただきますよう、併せてお願い申し上げます。

本調査では、収集した情報を全件公開するとともに、その中から特徴的な事例を取り上げ、事例集として広く紹介させていただく予定です。事例集作成の際は、抽出された対象テーマについて再度調査をさせていただくこともございますので、何卒よろしくお願い申し上げます。なお、平成16年に行われた類似の調査資料（成果集および事例集）をご参考添付のCD-Rに添付させていただきます。また、平成16年に行われた調査でご回答いただきました所には、その折の回答内容を成果集から抜粋して、紙媒体でお送りしておりますので、ご回答の際の参考としていただければと思います。

誠に短期間で恐縮ですが、ご回答いただきました調査票のファイルは、下記のメールアドレス宛添付ファイルとして**2009年1月14日（水曜日）**までにご送付いただきますようお願いいたします。その際、題名には「成果調査回答」とご記入下さい。また、ファイルをプリントアウトし、手書きでご記入いただいた上で下記住所宛に郵送でご返送いただいても結構です。なお、その際は大変申し訳ございませんが、郵送料はご負担いただきますようお願いいたします。

ご多忙中とは存じますが、ご協力の程、よろしくお願い申し上げます。

<ご返送先・お問い合わせ先>

本アンケート調査に関するご質問等は、下記までご連絡頂きますよう、願います。

ご連絡先： 株式会社 三菱総合研究所 産業戦略グループ 成果調査係

電子メール： seikachousa@mri.co.jp

返送先住所： 〒100-8141 東京都千代田区大手町2-3-6

電話： 03-3277-0557

Fax： 03-3277-0545

【本調査における個人情報の取り扱い】

（株）三菱総合研究所は、2003年1月8日にプライバシーマークの付与・認定を受けております。ご回答者の個人情報は、弊社が定める「個人情報保護方針」に則り、適切な保護措置を講じ、厳重に管理いたします。ご記入頂きました個人情報は、回答内容の確認および本調査の公表結果のご送付のみに利用する予定であり、それ以外の目的で個人情報を利用する場合は、改めて目的をお知らせし、同意を得るものといたします。また、お答えいただきました問2(1)の研究者情報は、成果集および事例集などで公開されることをご同意の上、ご記入下さい。ご同意いただける方は【回答シート】問2の(1)の同意欄に○をご記入下さい。個人情報の委託および提供の予定はありません。また、本調査終了後、ご記入いただきました個人情報は、弊社が責任をもって廃棄いたします。

なお、弊社の個人情報の取り扱いについてのご相談やご質問、苦情等は下記にてお受けしております（アンケート調査の内容に関するお問合せは案内状記載のフリーダイヤルまでお問合せください）。

①個人情報保護管理者：（株）三菱総合研究所 常務執行役員 渡井康之

連絡先：03-3270-9211 E-mail: privacy@mri.co.jp

②苦情・相談窓口：経営企画部 広報グループ 電話 03-3277-4515 FAX 03-3277-3490

E-mail: prd@mri.co.jp URL: <http://www.mri.co.jp/kojin/>

◆弊社の「個人情報保護方針」「個人情報のお取り扱いについて」をご覧になりたい方は
<http://www.mri.co.jp/TOP/privacy.html>をご覧ください。又、ご請求いただければお送り致します。

お問合せ番号： P018509-001-c

大学及び公的研究機関における科学技術の代表的な研究開発成果に関するアンケート調査

記入要領

全体

- ・本調査票の対象は、第2期及び第3期基本計画(平成13年～平成20年現在まで)に実現した、あるいは今後5年程度で実現が期待される、貴大学あるいは貴機関における代表的な成果(大きな進展)です。
- ・代表的な成果(大きな進展)は、**貴大学あるいは貴機関において最大10事例まで**といたします。
- ・本調査票は**1票(1ファイル)で一事例分**です。
貴大学あるいは貴機関における代表的な成果(大きな進展)一事例ごとに1票(1ファイル)ご回答ください。
- ・本調査票は【はじめに】、【記入要領】(本シート)、【**回答シート**】問1、【**回答シート**】問2、【付録】選択表、【付録】競争的資金制度一覧の計6シートで構成されています。
- ・本調査票の回答項目は【**回答シート**】問1と【**回答シート**】問2の2つの回答シートに分かれています。
両方のシートにご回答ください。
- ・本調査票はブック、およびシートに保護がかかっていますので、**所定のセル(黄色のセル)以外には一切の入力は出来ません。**
- ・各設問には必要に応じて注釈がついています。ご確認の上、ご回答ください。
- ・選択肢記入欄は、プルダウンメニューとなっています。
プルダウンメニューから該当する選択肢番号を選択してお答えください。

問1

- ・問1の回答は、**本調査報告書の成果一覧として、そのままの形で掲載される予定です。**
(報告書の内容は、印刷物で広く配布され、Web上でも公開されます。)
- ・貴大学あるいは貴機関における代表的な成果(大きな進展)について、(1)～(4)の設問にお答えください。

問2

- ・問2の回答は、**事例選択の参考**にさせていただくものであり、このままの形では報告書には掲載いたしません。
- ・当該成果(進展)について、(1)～(6)の設問にお答えください。**該当する欄のみでかまいません。**

大学及び公的研究機関における科学技術の代表的な研究開発成果に関するアンケート調査

回答票(一事例分) 貴大学・貴機関において最大10事例まで

問1 貴大学あるいは貴機関における代表的な成果(大きな進展)について
(問1の回答は、本調査報告書の成果一覧として、そのままの形で掲載される予定です。)

※この問1の回答シートは画面の下に設問が続いています(A4印刷で2ページ分)。
お手数ですが画面を下にスクロールしてご回答ください。

- (1) 貴大学あるいは貴機関の名称をご記入ください。
- (2) 代表的な成果(大きな進展)の名称。
 - (2)－1 代表的な成果(大きな進展)に名称をつけてください。
対象: 第2期及び第3期基本計画(平成13年～平成20年現在まで)に実現した、あるいは今後5年程度で実現が期待される、貴大学あるいは貴機関における代表的な成果(大きな進展)
 - (2)－2 必要に応じて、代表的な成果(大きな進展)の名称に分かりやすい副題をつけてください。
- (3) 代表的な成果(大きな進展)の実現が果たす意義。
 - (3)－1 最も重要な意義を必ず一つ、また付随する意義があれば一つあるいは二つを、それぞれ<選択表>から選び、該当する番号をプルダウンメニューから選択してください。
 - (3)－2 (3)－1欄で選択した成果(進展)の意義の実現状況について、1～3のいずれかの選択肢番号をプルダウンメニューから選択してください。
 - (3)－3 (3)－1欄で選択した成果(進展)の意義を具体的に記述してください。
数値化できるもの(例えば、市場規模やCO2削減効果など)はできるだけ定量的に、できないものは具体的な事象の変化点などをご記入ください。
「実現できたこと・顕在化している事実」と「今後期待されること・潜在ポテンシャル」がそれぞれ明確に理解できるように区別してお示しください。
- (4) 成果を一言でアピールできるキャッチフレーズがあれば書いてください。

(1) 組織名	
---------	--

(2)－1 成果(進展)名 成果の姿が具体的にイメージできる名称にしてください。	
(2)－2 副題 必要に応じて、副題を設けてください。	

(3)	(3)－1 成果の意義 <選択表>から該当する番号をプルダウンメニューで選んでください。 ※下線部をクリックすると<選択表>を一覧できます。	(3)－2 実現状況 1. 期間中に実現した 2. 期間中に一部実現した 3. 今後5年程度で実現が期待できる
最も大きな意義 (必ず1つ選択)		
付随する意義1 (あれば1つ選択)		
付随する意義2 (あれば1つ選択)		

（3）－3 成果（進展）の意義の具体的内容を記述してください。

成果（進展）の意義として、科学技術・市場・社会への貢献・波及効果の観点から、「実現できたこと」、「今後期待されること」について記述してください。

- ・ 科学技術への貢献・波及効果の例： 開発された技術内容の革新性、優位性、およびその波及効果
- ・ 市場への貢献・波及効果の例： 製品やサービスの評価や技術に対する市場の評価、市場規模（予測）
- ・ 社会への貢献・波及効果の例： 地域社会への貢献や国際的な貢献に対する評価、人材育成

「実現できたこと・顕在化している事実」	
「今後期待されること・潜在的ポテンシャル」	
（4） 成果をアピールする キャッチフレーズ	

問1の回答シートは以上で終わりです。続いて問2の回答シートをご回答ください。

大学及び公的研究機関における科学技術の代表的な研究開発成果に関するアンケート調査

回答票(一事例分)

問2 当該成果(進展)に関連する情報についてお答えください。(該当する欄のみで可)
(問2の回答は事例選択の参考にさせていただくものであり、このままの形では掲載いたしません)

(1) 中心となった研究者 あるいは研究チーム (明らかな場合のみ)		(個人情報の取り扱い) に同意いただける場合は右欄 で「○」を選択ください。	
(2) 共同推進組織の名称 (組織間連携や産学官連 携等により行われた場合)			
(3) 当該成果に関する 表彰やメディア報道など 例: 受賞暦、製品化(企業 など)、新聞・テレビなど の報道			
(4) 機関内外の支持プロジェクト・資金等があった場合、その名称をご記入ください。 (当該期間以前のものも、効果があれば記載可。複数記載可)			
(4)-1 科研費 科研費(科学研究費補助金)があった場合には、名称を記載し、さらに下の選択肢から該当分野を選び、プルダウ ンメニューから選択してください。			
科研費の名称			
科研費の該当分野 ア. 数物系科学 イ. 化学 ウ. 工学 エ. 生物学 オ. 農学 カ. 人文科学 キ. 社会科学 ク. 医歯薬学 ケ. 総合的或いは複合的な領域			
ケ. をご回答の場合は分野の具体的な名称をご記入ください			
(4)-2 その他の支持プロジェクト・資金等 科研費以外の支持プロジェクト・資金等がある場合には、該当する資金制度名をご記入ください。 (必要に応じて、「競争的資金制度一覧」シートをご参照ください)			
その他の支持プロジェクト・ 資金等の名称			
(5) 関連文献等 成果内容を確認できる 論文、報告書、特許等から 代表的な文献と件数について 記載してください			
(6) その他の特記すべき 事項			

アンケートは以上で終わりです。ご協力ありがとうございました。

＜選択表＞ (3)－1の成果の意義は個別政策目標①－1～⑦－2から選択してください。
(①－1～⑥－11は「第3期科学技術基本計画の政策目標の体系」から抜粋。)

第3期科学技術基本計画(H18～22年度)の政策目標体系

[回答欄へ戻る](#)

大政策目標	中政策目標	個別政策目標
＜目標1＞ 飛躍知の 発見・発明 ～未来を切り拓く多様な知識の蓄積・創造	(1) 新しい原理・現象の発見・解明 (2) 非連続な技術革新の源泉となる知識の創造	①-1 知と革新の源泉となる知的蓄積を形成し、世界的な“飛躍知”創出における我が国の存在感を高める。 ①-2 世界トップクラスの拠点を形成し、世界の科学技術をリードする。 ①-3 世界的に認められる研究人材を数多く輩出する。 ①-4 生命の仕組みを世界に先駆けて理解し、新たな知識体系を確立する。 ①-5 ナノ領域特有の現象や特性を活かし、新たな動作原理による革新的機能を創出する。 ①-6 目標1)に該当するその他の領域。
＜目標2＞ 科学技術の 限界突破 ～人類の夢への挑戦と実現	(3) 世界最高水準のプロジェクトによる科学技術の牽引	②-1 宇宙の限界領域を探索する。 ②-2 地球の生い立ち、生命、物質の起源について飛躍的な知識を得る。 ②-3 世界最高性能のスーパーコンピュータを実現する。 ②-4 2010年度までに超微細に超高速で原子・分子レベルの物理状態を計測できる世界最高性能のレーザー光線による計測システムを開発する。 ②-5 未来のエネルギー源と期待される核融合エネルギーの科学的・技術的な実現可能性を実証する。 ②-6 世界最高水準のライフサイエンス基盤を構築する。 ②-7 目標2)に該当するその他の領域。
＜目標3＞ 環境と経済の 両立 ～環境と経済を両立し持続可能な発展を実現	(4) 地球温暖化・エネルギー問題の克服 (5) 環境と調和する循環型社会の実現	③-1 世界で地球観測に取り組み、正確な気候変動予測及び影響評価を実現する。 ③-2 世界を先導する省エネルギー国であり続ける。 ③-3 世界で利用される新たな環境調和型のエネルギー供給を実現する。 ③-4 燃料電池を世界に先駆け家庭や街に普及する。 ③-5 世代を超えて安全に原子力エネルギーを利用する。 ③-6 国民が必要とする燃料や電気を安定的かつ効率的に供給する。 ③-7 我が国発のバイオマス活用技術により生物資源の有効利用を実現する。 ③-8 3R(発生抑制・再利用・リサイクル)や希少資源代替技術により資源の有効利用や廃棄物の削減を実現する。 ③-9 環境と経済の好循環に貢献する化学物質のリスク・安全管理を実現する。 ③-10 持続可能な生態系の保全と利用を実現する。 ③-11 健全な水循環と持続可能な水利用を実現する。 ③-12 温室効果ガス排出・大気汚染・海洋汚染の削減を実現する。 ③-13 目標3)に該当するその他の領域。
＜目標4＞ イノベーター 日本 ～革新を続ける強靱な経済・産業を実現	(6) 世界を魅了するユビキタスネットワーク社会の実現 (7) ものづくりナンバーワン国家の実現 (8) 科学技術により世界を勝ち抜く産業競争力の強化	④-1 世界一便利で快適な情報通信ネットワークを実現する。 ④-2 どんなモノでも情報でつながり便利に利用できるユビキタス端末(スマートな電子タグ等)技術とネットワーク基盤を実用化する。 ④-3 誰でもストレスなく簡単にコミュニケーションできる次世代の情報通信システムを家庭や社会に普及する。 ④-4 日本発の革新的な情報家電を実現し世界に普及する。 ④-5 現在の半導体の動作限界を打ち破る革新的デバイスを実現する。 ④-6 生活に役立つロボットを家庭や街に普及する。 ④-7 日本発のデジタル・コンテンツを世界に広める。 ④-8 国際競争力のあるソフトウェアにより価値を創造する。 ④-9 世界に通用する高度IT人材を育成する。 ④-10 ナノテクノロジー・革新部材を駆使して今世紀のマテリアル革命を先導する。 ④-11 最小の資源・環境・労働負荷で最大の付加価値を生み出す先端ものづくり技術を進化させる。 ④-12 現場を支えるものづくり人材を育成・強化する。 ④-13 人間と協働して様々な役割を果たせるロボットをものづくり現場に普及する。 ④-14 循環型社会の構築に向け、バイオテクノロジーを活用し、環境に調和した先端ものづくりを実現する。 ④-15 バイオテクノロジーを駆使する医薬と医療機器・サービスを実現し、産業競争力を強化する。 ④-16 極限環境生物機能を利用した新規医薬品・科学触媒・環境浄化物を実現する。 ④-17 国際競争力の高い、安全で高品質な食料を提供し、食料の自給率向上と安定供給を図る。 ④-18 世界最高水準でロケットを打ち上げ宇宙を利用する技術を確立する。 ④-19 国際競争力ある海洋利用技術を確立する。 ④-20 国際競争力ある航空技術を確立する。 ④-21 技術経営人材含めイノベーションを支える幅広い人材を育成・強化する。 ④-22 ナノテクノロジーの社会受容の促進と普及を図る。 ④-23 目標4)に該当するその他の領域。

大学・研究機関の多様な成果(アンケート表 7/8)

<目標5> 生涯はつつ生活 ～子供から高齢者まで 健康な日本を実現	(9) 国民を悩ます 病の克服	⑤-1 ゲノム情報を活用した生体機能の解明によりがんなどの生活習慣病や難病などを克服し、健康寿命を延伸する。 ⑤-2 免疫メカニズムの解明により、花粉症などの免疫・アレルギー疾患を克服する。 ⑤-3 バイオテクノロジーとITやナノテクノロジー等を融合した新たな医療を実現する。
	(10) 誰もが元気に 暮らせる社会 の実現	⑤-4 予防医学と食の機能性を駆使して生涯健康な生活を実現する。 ⑤-5 脳科学の進歩により心と体の健康を保ち、自立しはつつとした生活を実現する。 ⑤-6 失われた人体機能を補助・代替・再生する医療を実現し、障害者の自立を支援する。 ⑤-7 ライフサイエンスの社会的影響を把握し、社会福祉に活用する。 ⑤-8 年齢や障害に関係なく享受できるユニバーサル生活空間・社会環境を実現する。 ⑤-9 <目標5>に該当するその他の領域。
<目標6> 安全が誇りとなる国 ～世界一安全な国・日 本を実現	(11) 国土と社会の 安全確保	⑥-1 災害に強い新たな減災・防災技術を実用化する。 ⑥-2 既存のインフラを活かした安全で調和の取れた国土・都市を実現する。 ⑥-3 安全で快適な新しい交通・輸送システムを構築する。 ⑥-4 国民の安全と国家の自律性を確保するため、宇宙にアクセスする技術を確立する。 ⑥-5 海洋フロンティアを開拓し資源を確保する。
	(12) 暮らしの 安全確保	⑥-6 深刻化するテロ・犯罪を予防・抑止するための新たな対応技術を実用化する。 ⑥-7 鳥インフルエンザなど人類の脅威となっている感染症を克服する。 ⑥-8 食の安全を実現し、消費者の信頼を確保する。 ⑥-9 医薬品・医療機器、医療、生活・労働環境等の安全確保や健康危機管理対策を充実する。 ⑥-10 情報セキュリティを堅固なものとし、インターネット社会の安全を守る。 ⑥-11 <目標6>に該当するその他の領域。
上記政策目標に該当しない研究分野		⑦-1 新規の研究分野（上記のいずれにも分類できない分野） ⑦-2 複合的・融合的な研究分野（上記の複数の目標に同じ程度にまたがる分野）

競争的資金制度一覧

[回答欄へ戻る](#)

(総合科学技術会議ホームページ記載内容を転載)

省庁名	担当機関	制度名
内閣府	内閣府	食品健康影響評価技術研究
総務省	総務省	戦略的情報通信研究開発推進制度
	情報通信研究機構	先進技術型研究開発助成金制度
		民間基盤技術研究促進制度
	消防庁	消防防災科学技術研究推進制度
文部科学省	文部科学省	科学研究費補助金
	日本学術振興会	
	科学技術振興機構	戦略的創造研究推進事業
	文部科学省	科学技術振興調整費
		研究拠点形成費等補助金(21世紀COEプログラム)
		研究拠点形成費等補助金(グローバルCOEプログラム)
		世界トップレベル研究拠点プログラム(WPIプログラム)
		地球観測システム構築推進プラン
		原子カシステム研究開発事業
	科学技術振興機構	先端計測分析技術・機器開発事業
		革新技術開発研究事業
	文部科学省	キーテクノロジー研究開発の推進 (ナノテク融合、社会のニーズを踏まえたライフサイエンス、次世代IT、光・量子)
	科学技術振興機構	独創的シーズ展開事業
		産学協同シーズイノベーション
		重点地域研究開発推進事業
	科学技術振興機構	地域結集型共同研究開発プログラム
	文部科学省	海洋資源の利用促進に向けた基盤ツール開発プログラム
		原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ
	科学技術振興機構	地球規模課題対応国際科学技術協力事業
	文部科学省	人文学及び社会科学における共同研究拠点の整備の推進事業 政策や社会の要請に対応した人文・社会科学研究の推進事業 ～近未来の課題解決を目指した実証的社会科学研究推進事業～
厚生労働省	厚生労働省	厚生労働科学研究費補助金
	医薬基盤研究所	保健医療分野における基礎研究推進事業
農林水産省	農業・食品産業技術総合研究機構	イノベーション創出基礎的研究推進事業
	農林水産省	新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業
		産学官連携による食料産業等活性化のための新技術開発事業
経済産業省	新エネルギー・産業技術総合開発機構	産業技術研究助成事業
		大学発事業創出実用化研究開発事業
	石油天然ガス・金属鉱物資源機構	石油・天然ガス開発・利用促進型事業
	経済産業省	革新的実用原子力技術開発事業
		地域資源活用型研究開発事業
		地域イノベーション創出研究開発事業
	新エネルギー・産業技術総合開発機構	エネルギー使用合理化技術戦略的開発 エコイノベーション推進・革新的温暖化対策技術発掘プログラム
国土交通省	鉄道建設・運輸施設整備支援機構	運輸分野における基礎的研究推進制度
	国土交通省	建設技術研究開発助成制度
環境省	環境省	環境技術開発等推進費
		廃棄物処理等科学研究費補助金
		地球環境研究総合推進費
		地球温暖化対策技術開発事業

第 1 部 大学・研究機関の多様な成果（全成果データベース）

第 1 部「大学・研究機関の多様な成果」に関するアンケート調査により収集した成果の全件（1052 件）について、回答結果から成果内容を抜粋したデータベースとして取りまとめた。本報告書では、データベースの中身を紙面に記載するには件数が多すぎるため、ここに添付した電子媒体（CD）にファイルとして収容した。

公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート表全体構成)

実際のアンケートでは、
この欄に次頁以降の8分野
毎事例リストを挿入したファ
イルを使用した

公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-1)

ライフサイエンス分野

A-01	がん化機構解明(転移機構、一部解明を含む)とその応用
A-02	発がん過程を促進する環境要因の発見とそれに基づくがんの予防策
A-03	がんの早期発見、診断技術
A-04	神経伝達物質、修飾物質等の相互関連・調節機構の解明(一部解明を含む)とその応用
A-05	遺伝子発現制御機構の解明(一部解明を含む)と発生分化の分子機構の概要解明(シグナル伝達分子の構造と機能の解明を含む)とその応用
A-06	動脈硬化の発症機構解明(一部解明を含む)とその応用
A-07	高コレステロール症治療薬
A-08	心筋障害に対する外科手術的治療法
A-09	新興感染症の予防ワクチン
A-10	免疫応答の分子生物学的機構解明(一部解明を含む)とその応用
A-11	各種感染症についての迅速な原因微生物同定による診断技術
A-12	AIDSの治療法
A-13	ゲノム高速解析技術(高速、高感度、小型DNAシーケンサー等)
A-14	個人の遺伝子多型等を検出する塩基配列決定技術とその応用(診断やオーダーメイド治療)
A-15	核酸、タンパク質の配列情報のデータベース蓄積・管理とその応用
A-16	プロテオーム解析技術
A-17	タンパク質あるいは核酸の特異的な相互作用の分子機構解明(一部解明を含む)とその応用
A-18	DNA判別による動物・植物の品種同定技術
A-19	主要植物の全DNAの塩基配列決定技術とその応用(主要な有用遺伝子の確保等)
A-20	体細胞クローン牛・豚の作出技術
A-21	動物培養細胞による医薬品等有用物質の生産技術
A-22	医薬品の有効性や安全性(変異原性、催奇形性、毒性)の検定技術
A-23	遺伝背景など発がんにおけるリスク推測技術
A-24	がん化細胞と正常細胞の生体内識別による抗がん治療法
A-25	放射線(重粒子線)によるがん治療技術
A-26	脳の高次機能の物質的基礎解明(一部解明を含む)とその応用
A-27	運動生理学、脳再活性化研究に基づく高齢者のQOL維持向上技術
A-28	アルツハイマー病の発症機構の解明(一部解明を含む)とその治療法
A-29	幹細胞(Stem CellまたはES(胚性幹)細胞)による培養自己組織を人工臓器・組織の材料として用いる
A-30	BSE等の人畜共通感染症の機構解明(一部解明を含む)と診断技術、治療技術
A-31	移植拒絶関与免疫機能分子の解明(一部解明を含む)と、それによる副作用のない臓器移植
A-32	マイクロマシンやロボットを応用した低侵襲医療技術(診断・治療)
A-33	生体反応系をコンピュータ上にシミュレート(一部シミュレートを含む)する技術(システム生物学)の応用
A-34	細胞内の分子のリアルタイムモニタリング技術
A-35	RNAiによる遺伝子発現制御技術
A-36	遺伝子操作による耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術
A-37	生物学的な方法(天敵生物、フェロモン、アレロパシー等の利用)を主とした作物保護技術(殺虫・殺菌・殺草用の化学農薬の使用を削減)
A-38	食品と食事の健康機能性(抗酸化機能、脳機能、咀嚼機能)の解明(一部解明を含む)とその応用(食品・食事法等の開発)
A-39	内分泌かく乱化学物質の毒性と生物の生理・生殖・行動等に及ぼす影響の解明(一部解明を含む)および生物・環境に対するリスク評価技術
A-40	環境微生物ゲノムの網羅的解析とその応用(新規有用遺伝子の確保等)
A-41	窒素固定菌の宿主拡大による化学肥料削減技術
A-42	農林水産物等の生産情報トレーサビリティシステム
A-43	海洋深層水による食物連鎖の活性化技術(水産系食料の増産)

公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-2)

情報通信分野

B-01	MPU用の高クロック周波数のLSI技術
B-02	高性能かつ低消費電力のプロセッサLSI技術
B-03	高記録密度の光メモリ技術 (DVD-RAM等)
B-04	青色発光ダイオードと青色レーザー技術
B-05	高速光加入者系システム
B-06	光多重通信技術 (大容量信号多チャンネルの多重化・伝送)
B-07	高精細度大型カラーフラットディスプレイ技術
B-08	高精細度デジタルテレビ(HDTV)技術
B-09	CCD、非球面レンズなどのデジタルカメラ技術
B-10	小型・高密度メモリ技術 (メモ리카ードまたはスティック型メモリ等)
B-11	ビデオカメラ、携帯端末等の小型・軽量化のための高性能バッテリー技術
B-12	高機能、多機能化をもたらした携帯電話技術 (高通話品質、小型・長寿命・充電容易、撮影機能等)
B-13	携帯電話、携帯端末からインターネットへのアクセス技術
B-14	インターネット (オープンで低価格な利用環境によるグローバルなコンピュータ通信ネットワーク)
B-15	インターネットによる電話サービスや動画像放送技術
B-16	無線LAN・ホットスポット技術
B-17	ネットワーク上での機密保護と認証実現のためのセキュリティ技術
B-18	多数のプロセッサ結合による高演算速度の並列コンピュータ
B-19	高性能パソコン (1990年代の大型コンピュータと同等性能)
B-20	ITS(インテリジェント・トランスポート・システム)および要素技術(GPS、ETC、VICS等)
B-21	物流用の非接触型スマートICカードやRF-ID(Radio Frequency Identification) タグ
B-22	オフィス業務の電子化・ネットワーク化技術
B-23	SCM(Supply Chain Management)システム (企業間取引の電子決済や関連企業間の受注、設計、製造・運用・保守等の情報管理を統合)
B-24	コンビニや駅における行政サービス・金融サービス等の24時間窓口システム
B-25	目的に応じ、高度機能を再組織化により実現する集積回路
B-26	100G~1Tヘルツで発振できる素子技術
B-27	自己修正能力をもつマルチプロセッサシステム
B-28	ミリ波半導体デバイス (無線LANや自動車衝突防止レーダー等用)
B-29	超LSI製造のための高分解能の半導体微細加工・計測技術
B-30	設計データからの自動LSIチップ生産システム
B-31	全光制御によるフォトニックルーター技術
B-32	Eペーパー(電子ペーパー)
B-33	垂直磁気記憶技術 (ハードディスク・ドライブ用)
B-34	マルチモード携帯端末技術 (ソフトウェアで仕様を変更でき、世界中で通話・データ通信可能)
B-35	第4世代移動体通信の広帯域接続技術 (携帯情報端末や移動体からも利用可能)
B-36	ユビキタス(Ubiquitous)コンピュータ・ネットワーク
B-37	家電製品(パソコンを含む)のホームネットワーク
B-38	多言語自動翻訳機能をもつブラウザ
B-39	新電源による携帯パソコン (主電源として太陽電池や燃料電池を利用)
B-40	人間の記憶、認識及び学習のメカニズムをまねることによる計算機科学への応用
B-41	バイオセンサ等(CT、超音波、赤外線画像伝送装置、高解像度モニタシステム)を用いた遠隔医療シス
B-42	自動車の衝突直前予測・安全対応技術
B-43	デジタルコンテンツの課金技術
B-44	エージェント技術
B-45	指紋・筆跡・音声・顔等の特徴を用いた個人識別セキュリティシステム
B-46	PKI(Public Key Infrastructure)利用によるネットワーク上での契約相手認証技術
B-47	届出、手続き等に関するネットワークを利用した役所の窓口サービス
B-48	土砂崩れ時の人命救助等に使用できる地中レーダー
B-49	デジタル機器(アナログTV等も含め)による情報伝達の低年齢層の心身の発達に及ぼす影響の解明 (一部解明を含む)とその対策技術

公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-3)

環境分野

C-01	衛星からの地表(地上、海洋)のモニタリングシステム
C-02	リモートセンシング技術等による都市環境情報(汚染度、緑化度等)のモニタリングシステム
C-03	地球温暖化および気候変化の予測技術
C-04	地球温暖化による海面上昇等の影響予測技術
C-05	オゾン層の形成・変動・消滅の機構解明(一部解明を含む)とその応用
C-06	オゾン層を破壊せず地球温暖化の点でも問題がないフロン・ハロン代替品製造・利用技術
C-07	二酸化炭素以外の温室効果ガスの大気中濃度の増加抑制技術
C-08	化石燃料使用の少ない、製鉄等の素材製造技術(CDQ微粉炭吹き込み等を含む)
C-09	特定化学物質の人体、生体への影響解明(一部解明を含む)と対策技術
C-10	有害化学物質のスクリーニングシステム(化学物質の有害性生物実験法、有害性推測モデル、データベースシステム等に基づく)
C-11	窒素酸化物の排出削減技術
C-12	ディーゼル車の微粒子状物質の排出削減技術
C-13	河川・湖沼等の水質浄化技術(環境改善および水利用促進のため)
C-14	膜処理による水質改善技術
C-15	POPS(難分解性環境汚染物質)の土壌・底質からの除去技術
C-16	大気汚染、騒音公害を起こさない低公害自動車(例えば電気自動車)
C-17	LCA(Life Cycle Assessment)的概念に基づいた製品の設計・製造・普及に関する技術
C-18	環境マネジメント技術(ISO14001等)
C-19	自動車のリサイクル技術
C-20	家電等の廃棄物からの鉄・銅・アルミニウム等重要金属分離技術
C-21	繊維製品、食料包装材等の家庭用資材のリサイクル技術
C-22	熱汚染、大気汚染(炭酸ガス、酸性雨等)、水質汚濁の全地球規模での進行状態の監視技術
C-23	全地球規模(大気、陸域、海洋、海底)での二酸化炭素の移動・貯蔵の全体像解明(一部解明を含む)とその応用
C-24	二酸化炭素以外の温室効果ガス発生量の把握システム
C-25	気候変動と水産資源の変動との相関についての数値モデルとその応用
C-26	地球温暖化による森林や自然植生への影響の全地球規模での解明とその応用
C-27	地球規模水循環情報の統合的利用・解析システム技術
C-28	気候変動による降雨特性変化(異常降水)の解明に基づく水資源確保技術
C-29	二酸化炭素の回収技術および地中・海洋隔離技術
C-30	廃熱利用、RDF、河川・下水の熱利用等の未利用エネルギーの活用技術
C-31	ヒートアイランド対策技術
C-32	環境に放出された化学物質の発生源を解析する技術
C-33	生物、植物を利用した有害重金属、化学物質の除去技術
C-34	NOx、フロン等を主発生源である都市部において吸収・固定化するアクティブ環境浄化施設(道路沿線)
C-35	下水道等排水処理における汚濁物質(リン化合物や窒素化合物などに加え内分泌かく乱物質等)の除
C-36	漁場の浄化・回復のための海底の有害ヘドロの除去無害化技術
C-37	閉鎖水域汚染(霞ヶ浦等)に対する生物・生態系機能利用による浄化・環境修復技術
C-38	環境リスクの事前評価技術
C-39	環境税導入など環境に関する制度的変化の社会・経済などへの影響評価手法
C-40	安全な廃棄物処理及びリサイクル技術
C-41	低コスト型リサイクル技術
C-42	森林の環境保全・防災機能の定量的評価手法に基づく森林資源管理技術

公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割（アンケート用事例リスト-4）

ナノテクノロジー・材料分野

D-01	シンクロトン放射光(SOR)光源を利用したリソグラフィ・パターン加工技術
D-02	超LSI製造のための高分解能の半導体微細加工・計測技術
D-03	原子レベルでの構造観察技術
D-04	シリコン単結晶製造技術
D-05	窒化物半導体(窒化ガリウム、窒化アルミニウム、窒化ホウ素)結晶成長技術
D-06	ダイヤモンド結晶成長技術
D-07	有機半導体デバイス(有機ELを含む)
D-08	太陽電池
D-09	超LSI用絶縁材料
D-10	アクチュエータ材料（セラミック圧電体、圧電性高分子等）
D-11	光触媒材料
D-12	ナノ触媒材料（高効率環境浄化等）
D-13	材料の生体親和性解明(一部解明を含む)とその応用
D-14	プラズマを利用した環境汚染物質の高効率分解技術
D-15	リチウム電池の小型化・長寿命化技術
D-16	DNAチップ（遺伝子発現解析ツール）
D-17	熱遮蔽・耐環境遮蔽のセラミックコーティング技術
D-18	積層セラミックモジュール
D-19	電子部品・電子機器の鉛フリー化技術
D-20	各種物質・材料の物性等のデータベース
D-21	固体表面・界面の構造および性質の原子レベルでの制御技術
D-22	ナノメートルスケールの3次元集積加工技術
D-23	ナノメートルスケールのオンライン加工技術
D-24	デバイス作製や遺伝子操作のための原子・分子レベルの操作技術
D-25	超精密プロセス技術（オングストローム、フェムト秒のオーダーでの測定・加工・分析・試験）
D-26	太陽光による水分解プロセス技術
D-27	量子ドットデバイス技術
D-28	分子デバイス技術
D-29	ニューロデバイス(脳型の情報素子)技術
D-30	スピン制御構造とデバイス応用に関する技術
D-31	カーボンナノチューブ・デバイス技術
D-32	ドラッグデリバリーシステム
D-33	自己組織化により特定のナノスケール構造・特性を与えるメモリ材料
D-34	ヒ素など危険物質を用いない半導体デバイス
D-35	分子識別性の物質透過膜を利用した人工臓器やバイオセンサ
D-36	使用温度が液体窒素(77K)以上の超伝導材料（高電流密度線材等）
D-37	原子・分子レベルの構造制御技術による高機能材料・極限材料
D-38	結晶構造・分子構造の高速精密制御技術による高機能材料・極限材料
D-39	鉄に代替する軽量・高強度の構造材料
D-40	超鉄鋼製造・利用技術
D-41	金属疲労の非破壊検査による残存寿命推定技術

公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割（アンケート用事例リスト-5）

エネルギー分野

E-01	天然ガス等からの液体燃料製造・利用技術（GTL、DME含む）
E-02	ゴミ固形燃料(RDF)発電技術
E-03	高効率ガスタービンによる大型複合サイクル発電技術
E-04	軽水炉の高度検査技術
E-05	住宅電力供給用太陽電池システム
E-06	大型風車を用いた風力発電技術
E-07	バイオガス発電技術
E-08	自動車動力用バッテリー技術
E-09	ヒートポンプ給湯技術
E-10	家電機器（冷蔵庫等）の大幅な効率向上技術
E-11	高断熱による省エネルギー住宅
E-12	内燃機関によるコージェネレーションシステム
E-13	オンサイト型電力貯蔵システム（NAS電池、レドックスフロー電池等）
E-14	LED利用照明および信号システム
E-15	ビル用エネルギーマネジメントシステム(BEMS)
E-16	メタンハイドレート採掘・利用技術
E-17	水電気分解による水素生産システム
E-18	水素吸蔵・貯蔵技術（水素吸蔵合金系、カーボンナノチューブ系等）
E-19	原子炉による水素製造技術
E-20	エネルギーのベストミックス評価技術
E-21	工場における未利用排熱回収発電技術
E-22	低温排熱利用技術（廃棄物処理、リサイクル、製品製造での排熱等）
E-23	バイオ液体燃料製造・利用技術
E-24	農業生産物・副産物を利用するバイオマスエネルギー利用技術
E-25	先進的核燃料サイクル技術（群分離、核変換処理等）
E-26	高温ガス炉
E-27	新型太陽電池（色素増感、塗料型等）
E-28	家庭用燃料電池システム
E-29	パソコン用燃料電池技術
E-30	燃料電池自動車
E-31	石炭液化技術
E-32	石炭ガス化複合発電技術
E-33	超伝導送電システム

公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-6)

ものづくり分野

F-01	CIM (設計生産用データベースとインテリジェントなCAD/CAMシステムで構成する設計生産一貫シス
F-02	超精密プロセス技術 (ビーム技術、高度な装置制御技術、高度センサ技術による加工・分析・試験・in-situモニタリング)
F-03	光造形・プロトタイプ技術
F-04	プラズマ・プロセッシング技術
F-05	シリコンのマイクロ構造の制御技術
F-06	半導体レーザ技術
F-07	超精密位置決め技術
F-08	マイクロマシン、MEMS
F-09	廃棄された製品を資源として回収分離しやすい製品設計技術
F-10	自動車や家電など主要製品の産業単位でのリサイクル・リユース技術
F-11	廃棄物選別回収システムおよび、再生原料や再生品を生産・流通・消費する循環システム
F-12	汎用プラスチックのリサイクルシステム
F-13	視覚と聴覚に関連づけられた人間のアナログ的な認知の世界と、コンピュータや通信などのデジタル処理の人工物の世界をつなぐインターフェース技術
F-14	3次元デジタルモデルでイメージプロトタイプを作製し、製造現場にデジタルデータを送信する省試作工程・現地(遠隔地)製造システム
F-15	受注生産主流化のための電子商取引ネットワークの高度化やビジネスサイクルタイムの効率化技術
F-16	LSI製造などの複雑・精密な製造プロセスにおける後検査不要な製造技術 (化学反応のin-situ モニタリングと制御系へのフィードバックにより、所定の特性を制御)
F-17	製品ライフサイクル(設計、開発、製造、運用、保守、廃棄など)に沿って生産活動を支援(最適化・効率化・許認可申請など)するバーチャル・マニファクチャリングシステム
F-18	マイクロリアクタによる革新的化学品製造技術
F-19	低温触媒プロセスなどの水素製造技術
F-20	触媒の分子レベルでの制御による合成反応技術
F-21	物性の差で分離する高分子分離膜
F-22	排泄や入浴等を含む多目的看護や身障者への機能補助を行うロボット
F-23	メンテナンスを大幅に軽減(オーバーホール不要)する航空機の設計技術
F-24	低環境負荷型のものづくり-ものこわし型製造システム (生産システム「設計→生産→使用→廃棄」と資源循環システム「回収→分解・選別→再利用→生産」の一体化)
F-25	LCA的な観点に立った都市ゴミからの合理的な有価物回収・利用技術
F-26	最終処分量的大幅減量を可能とする廃棄工業製品処理技術
F-27	固体廃棄物処理場用バイオリアクタシステム
F-28	ゼロエミッション化技術 (二酸化炭素回収技術や製造分解技術等によるゼロエミッションファクトリー等
F-29	製造プロセスにおけるエネルギー使用最適化技術 (超伝導、フライホイール、コンデンサ等の電力大規模貯蔵を利用)
F-30	製造に関する異文化間のインタフェース技術 (製造に関わる情報・知識を表わす世界共通言語(ソフトウェアを含む)と、これによる人間-機械-情報系におけるコミュニケーションが言語や文化の違いを越え意図も含めて正確に伝わるためのインタフェース技術)
F-31	マイクロ技術をベースとした新たな法則・効果・現象の発見(一部発見を含む)による人工物設計論の大きな変革とその応用

公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-7)

社会基盤分野

G-01	局地的な気象予報技術(集中豪雨・豪雪等の短時間予報を含む)
G-02	巨大地震発生時の構造物や地盤の正確な挙動シミュレーション技術
G-03	震度7クラスの地震に対する建築物の設計・解析技術
G-04	構造物の免振・制振構造技術
G-05	地盤改良技術(地盤改良材等)
G-06	超高層ビルの災害(火災、地震等)対応技術
G-07	総合ホームセキュリティシステム(過熱、漏電、ガスもれ等をチェックし安全装置が作動等)
G-08	ライフライン(上下水道、電気、ガス等)の防災性向上のための遠隔監視・制御システム
G-09	安全性向上や省エネを実現した大型旅客機関連技術(操縦系の電子化・エンジン効率・空力向上等)
G-10	空域を効率よく利用し、便数を増大させる高精度航空管制・航法技術
G-11	ハイブリッド自動車
G-12	ガソリンエンジンの高効率化技術
G-13	大型貨物自動車の窒素酸化物排出量低減技術
G-14	自動車エンジンの高度燃焼制御技術(リーンバーン等)
G-15	ETC(ノンストップ自動料金収受システム)
G-16	道路交通情報システム(VICS、カーナビ等により走行目的に対応した個別の交通情報をドライバーへ)
G-17	鉄道のりつぎICカード(のりつぎのシームレス化)
G-18	GISをベースとした地域情報統括システム
G-19	公共交通機関のバリアフリー化およびバリアフリーの街づくり技術
G-20	環境アセスメント技術(計画段階での総合アセスメント)
G-21	土木・施設等の修景・景観デザイン技術
G-22	特定地点における集中豪雨による土砂崩れ・土石流の予測技術
G-23	地震検知全国ネットワークとこれによる50km程度以上離れた地震に関して到達前に情報伝達される防災システム
G-24	各種施設・設備の潜在危険性評価技術(工業団地、企業、製造設備等について連鎖・複合的事故まで想定し、周辺地域への影響を含めた被害予測)
G-25	都市災害の高精度シミュレーション技術
G-26	自然災害発生時の都市基盤施設・ネットワークの被害状況リアルタイム・モニタリング技術
G-27	災害時に市民に緊急情報提供可能なセキュリティ・システム
G-28	大都市における大規模地震・火災時のパニック防止のための社会心理学・行動心理学に基づく災害予報・情報伝達システム
G-29	極限作業(災害時、原子炉廃炉時等)ロボット(遠隔操作によるものを含む)
G-30	地下鉄・地下街の防災性向上による大都市の地下空間高度利用技術
G-31	高利用密度海域(東京湾、大阪湾等)の総合的利用・保全技術(湾全体)
G-32	飛行中に前方の乱気流を予測するなどの航空機事故防止技術
G-33	ITS技術を応用した衝突防止システム
G-34	列車走行の騒音・振動低減化技術(車輪、レールの新材料利用や車両構造により大幅減少)
G-35	バイオテクノロジー活用によるコンパクトな排水処理システム(難分解性物質や有害物質を高効率処)
G-36	経済的に都市ゴミから有価物を回収する分別・分離技術
G-37	高齢者や身障者も健常者と同じように利用できるマンマシンインターフェース技術(都市公共施設等)
G-38	各地への救急医療センターの設置、および必要なデータの中央医療センターでの解析により、適切な救急医療が受けられるシステム

公的研究開発・支援がこれまで果たしてきた役割(アンケート用事例リスト-8)

フロンティア分野

H-01	高信頼性・低コストの使い切り打上げ液体燃料ロケットシステム
H-02	人工衛星の高精度な姿勢制御技術
H-03	人工衛星によるリモートセンシング技術(大気汚染の分布・移動、農林資源や農林環境変化、都市環境情報等の地表の物理量に対するモニタリング)
H-04	人工衛星を利用した航空交通管制システム
H-05	自動車、船舶、航空機移動無線システムのための低軌道周回衛星通信システム
H-06	高精度測位衛星システム(GPS)とその応用
H-07	日本近海の流れ変動の予知・予報技術
H-08	音波を使用した海流速・温度測定技術(ADCP)
H-09	人工衛星による海洋中・海洋上に対するリモートセンシング技術(水温、海流、クロロフィル濃度、波浪、風、高度、海色等の情報把握)
H-10	人工衛星(アルゴス)による洋上データ収集システム
H-11	洋上ブイ・ネットワークによるリアルタイムでの洋上監視システム
H-12	自動潜水・浮上式測器による海洋モニタリングシステム(アルゴ)
H-13	海底での各種地殻変動の連続測定手法(一部手法の確立を含む)
H-14	深海底全体の詳細な海底面地形情報のマッピング技術
H-15	深海ホットスプリングにおける生命の発見とその応用
H-16	海洋上の人工プラットフォーム構築技術
H-17	地殻変動の高精度測定技術(地上および宇宙のVLBI-超長基線電波干渉法-、衛星レーザおよび逆レーザ測距と合成開口レーダー利用)
H-18	使い切りロケットに搭載する宇宙往還システム(有翼、カプセル)
H-19	科学観測用の垂直離着陸型再使用ロケット
H-20	ロケット等に用いる高機能(高比強度、高比弾性率、耐熱)・高信頼性材料
H-21	人工衛星搭載用の高信頼性電源システム
H-22	超小型衛星システム
H-23	太平洋上の多目的静止プラットフォーム
H-24	全地球的(陸域における水、土壌水分、折出塩濃度、氷雪分布)に測定するマイクロ波放射計
H-25	人工衛星による潮汐・津波観測および湾岸地形等のデータを用いた津波予報システム
H-26	地球の環境変化をリアルタイムまたは一定時間間隔でモニタし、情報を統合し体系的に分析、世界中にデータ配布を行う世界規模の地球環境監視ネットワーク(成層圏の大気組成変動を含む)
H-27	人工衛星と自動観測ブイを組合せたDCS(データ収集方式)による時空間連続性、広域同時性の情報収集・処理解析・伝達技術
H-28	人工衛星等による24時間リアルタイムで地球全体の環境モニタリングシステム
H-29	海洋中の化学成分の自動モニタリングシステム
H-30	海洋環境・生物生産力の変動状況の監視・把握および長期予測技術
H-31	300M以深の海底からの石油の経済的採取技術
H-32	海水中のレアメタル等の金属の採取技術
H-33	ジオトモグラフィ等の物理探査技術による地下深部構造立体的把握技術

調査担当

調査の企画と全体的運営について科学技術政策研究所が担当し、実査については株式会社三菱総合研究所が担当した。本調査にあたっては、多くの有識者の方々のご協力を得ている。ここに、ご協力を頂いた方々に対して、厚く御礼申し上げる。

なお、各々の担当者は以下のとおりである。

文部科学省 科学技術政策研究所

科学技術動向研究センター

(全体統括)

センター長	奥和田 久美
-------	--------

(調査取りまとめ)

特別研究員	藤本 博也
特別研究員	岡田 義明
上席研究官	重茂 浩美
上席研究官	白石 栄一
特別研究員	武井 義久
技術参与	佐藤 秀治

(事例分析担当)

上席研究官	重茂 浩美(再掲)
特別研究員	関根 進
客員研究官	鷺見 芳彦
客員研究官	原田 良信
客員研究官	市口 恒雄
上席研究官	加藤 寛治
特別研究員	吉永 孝司
特別研究員	河本 洋
研究員	金間 大介
特別研究員	岡田 義明(再掲)
上席研究官	白石 栄一(再掲)
特別研究員	清水 貴史
特別研究員	藤本 博也(再掲)
特別研究員	武井 義久(再掲)

(調査補助)

事務補助員	梅澤 真理奈
-------	--------

株式会社三菱総合研究所

(実査取りまとめ)

主席研究員	北田 貴義
-------	-------

主任研究員	岡田 光浩
研究員	杉江 周平
(第 1 部調査担当)	
主席研究員	片岡 敏彦
主席研究員	北田 貴義(再掲)
主任研究員	吉田 彩
研究員	宍戸 和子
(第 2 部事例調査担当)	
主席研究員	富田 稔
主席研究員	二瓶 正
主任研究員	羽生 哲也
主任研究員	吉村 哲哉
主席研究員	北田 貴義(再掲)
主任研究員	岡田 光浩(再掲)
研究員	杉江 周平(再掲)
研究員	瀧本 慶一郎
研究員	佐々木 伸
研究助手	大野 絢子
研究助手	大井 修一

第 3 期科学技術基本計画のフォローアップに係る調査研究

政府投資が生み出した成果の調査

報 告 書

2009 年 3 月

文部科学省 科学技術政策研究所

〒100-0013

東京都千代田区霞ヶ関 3-2-2 中央合同庁舎第 7 号館 東館 16 階

TEL:03-3581-0605 FAX:03-3503-3996 E-mail:office@nistep.go.jp

